

Desenvolvimento Sustentável em Engenharia Mecânica
Um caso de estudo: Projeto *Autarkeia*

Ana Teresa Afonso



Dissertação do MIEM

Orientadores na FEUP:

Prof. António Torres Marques

Prof. Francisco Xavier de Carvalho

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Junho 2013

*We must use nature for inspiration
and redesign our technologies to do things
cleaner and better
(anónimo)*

RESUMO

Este projeto foca-se na redução dos riscos associados à escassez de água na comunidade rural de Malonguete, Sul de Moçambique. Impulsionada pelo uso de Tecnologias Apropriadas, como meio para alcançar o desenvolvimento sustentável, a solução apresentada encara o problema holisticamente.

Numa primeira, abordagem propõe-se uma solução através da implementação de um sistema de irrigação por gotejamento e um sistema de extração de água apropriado, a bomba de corda, para o centro comunitário de Malonguete, constituído por sessenta membros. Contudo, este sistema requer a utilização de materiais sintéticos.

Com o objetivo de reduzir os custos, e procurando uma solução verdadeiramente sustentável, foi estudado o uso de materiais de origem natural e a possibilidade de criação de materiais compósitos através dos mesmos. A colofónia, um subproduto da resina de pinheiro, a fibra de sisal, agregados (areias) e madeira foram os materiais selecionados por se encontrarem disponíveis localmente. O uso da colofónia em Engenharia Mecânica não é muito explorado, pelo que foram efetuados testes para caracterização mecânica, nomeadamente testes de flexão, absorção de água, MFI e HDT. São também apresentados os resultados de caracterização mecânica de materiais compósitos derivados de diferentes combinações dos materiais selecionados.

Finalmente, estabelecem-se conexões entre os diferentes estágios do processo, sendo este aspeto considerado como um requisito essencial para o alcance de uma solução sustentável. Para o efeito, é apresentado o protótipo de um equipamento de enrolamento filamentar artesanal para a produção de tubos.

ABSTRACT

This project aims to mitigate the risks of water scarcity, a major concern in rural Mozambique, mainly in the rural community of Malonguete. Considering at all times the use of Appropriate Technologies, the presented solution faces the problem holistically.

Primarily, the proposed solution for the community center of Malonguete consists on the implementation of a drip irrigation system, gravity led, and a rope pump. However, this solution is designed to be made of synthetic materials.

Aiming to reduce costs, and searching a truly sustainable solution, the use of natural materials in the conception of a composite material was carried out. Colophony (a subproduct of pine resin), sisal fiber, sand and wood were the available selected materials. Colophony's use in the field of mechanical engineering is not widely spread. Therefore, mechanical characterization was carried out and presented in the report. The results of the mechanical tests of different composite materials are also shown.

Finally, the establishment of connections between the different stages was performed, for it is believed to be a key aspect to reach a sustainable solution. This was obtained through the design of a prototype of an artisanal filament winding machine for the production of tubes.

AGRADECIMENTOS

Este espaço é dedicado a agradecer a todos os que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Em primeiro lugar, desejo agradecer aos meus orientadores, Professor António Torres Marques e Professor Francisco Xavier de Carvalho, sem os quais não teria tido oportunidade de me dedicar a este tema. Por terem dado asas à minha imaginação, e me terem provado que há espaço para sonhar cientificamente, o meu sincero agradecimento.

Mas nem sempre é possível caminhar pelo onírico e é preciso ter os pés no chão. Por me ter apoiado em diversas situações, pela paciência e pelo gosto em transmitir conhecimentos, por me ter ajudado a organizar o meu pensamento e a tornar as minhas ideias reais e palpáveis, agradeço ao Professor José Luis Esteves.

Ao Engenheiro Paulo Reis, da empresa EUROCHEMICALS PORTUGAL SA, e à Engenheira Ana Reis que, gentilmente, forneceram as matérias primas essenciais para a realização dos trabalhos experimentais.

Ao Sr. Saldanha, pela boa vontade e pelo apoio prestado na realização do protótipo.

Às pessoas que conheci no INEGI, em especial à Susana, ao Cerqueira e ao João Pedro.

À Su e Gero, as minhas influências responsáveis por uma parte do que eu sou, do que eu gosto e daquilo em que acredito.

A todos os meus amigos, sem exceção, por estarem ao meu lado sempre.

Ao Gui, uma presença imprescindível, e um motivo de orgulho.

Finalmente, e o mais importante de tudo, aos meus pais, as minhas primeiras referências. Um profundo agradecimento pelas oportunidades que me deram, por proporcionarem experiências fora da minha zona de conforto, situações que moldam a minha visão do mundo.

ÍNDICE DE CONTEÚDOS

RESUMO	v
ABSTRACT	vii
AGRADECIMENTOS	ix
ÍNDICE DE CONTEÚDOS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xx
ÍNDICE DE TABELAS	xxi
ÍNDICE DE EQUAÇÕES	xxiv
SIMBOLOGIA E NOMENCLATURA	xxv
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Organização da dissertação.....	1
1.2. Descrição do problema	1
1.3. Caracterização do local	3
1.3.1. Distrito de Chicualacuala.....	3
1.3.2. Comunidade Malonguete.....	5
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1. Desenvolvimento sustentável	11
2.1.1. Desenvolvimento.....	12
2.1.2. Sustentabilidade de um projeto de desenvolvimento	12
2.1.3. Evolução do conceito de desenvolvimento sustentável.....	13
2.1.4. Movimento humanitário e holismo em Engenharia	15
2.1.5. Transferência de tecnologias	17
2.1.6. <i>Open-source</i> nas tecnologias apropriadas	19
2.1.7. Apropriação das tecnologias.....	19
2.1.8. Exemplos de tecnologias apropriadas.....	20

2.1.9.	Concepção para o mercado.....	23
2.2.	Tecnologias apropriadas de aprovisionamento e distribuição de água.....	27
2.2.1.	Recolha e armazenamento de água.....	27
2.2.2.	Extração de água.....	30
2.2.3.	Irrigação de pequena escala.....	34
2.3.	Utilização de materiais de origem vegetal em materiais compósitos	39
2.3.1.	Fibras naturais	44
2.3.2.	Matrizes naturais.....	51
2.3.3.	Agregados naturais (areias) e ligantes poliméricos	62
2.3.4.	Considerações sobre o processamento e aplicações de compósitos de origem vegetal.....	63
3.	DESENVOLVIMENTO DO CONCEITO	67
3.1.	Geração do conceito.....	67
3.2.	Dimensionamento do sistema de irrigação gota-a-gota.....	68
3.2.1.	Dimensionamento agrónomo.....	70
3.2.2.	Dimensionamento hidráulico.....	72
3.2.3.	Planeamento do espaço.....	76
3.3.	Dimensionamento da bomba de corda.....	77
3.4.	Custos.....	79
4.	MATERIAIS DISPONÍVEIS	83
4.1.	Sisal.....	83
4.2.	Resina de colofónia.....	86
5.	TRABALHO EXPERIMENTAL	95
5.1.	Caracterização dos materiais	95
5.2.	Manuseamento e dificuldades no processamento de material	102
5.3.	Primeiras tentativas na criação de material compósito	104
5.4.	Metodologia de preparação dos provetes.....	109

5.4.1.	Tamanho e orientação da fibra	109
5.4.2.	Descrição do procedimento	109
5.4.3.	Identificação e composição dos provetes	109
5.5.	Ensaio de flexão.....	111
5.5.1.	Resultados.....	111
5.6.	Ensaio de absorção de água	114
5.6.1.	Resultados.....	115
5.7.	Ensaio HDT	116
5.7.1.	Resultados.....	116
5.8.	Ensaio de tração	116
5.8.1.	Resultados.....	116
5.9.	Discussão dos resultados	117
6.	TECNOLOGIAS APROPRIADAS	121
6.1.	Mecanismo de enrolamento filamentar artesanal	122
6.2.	Construção do protótipo de bomba de corda	132
6.3.	Redução de custos do sistema de irrigação.....	134
6.4.	Breves sugestões para melhoria do bem estar	139
6.4.1.	Obtenção de água potável.....	139
7.	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	141
	BIBLIOGRAFIA	143
	ANEXO A - Relatórios da EpDAH, resultados de ações desenvolvidas na aldeia de Malonguete	150
	ANEXO B - Dimensionamento de sistemas gota-a-gota	154
	ANEXO C - Dados para o dimensionamento de sistema gota-a-gota.....	155
	ANEXO D - Caracterização do solo	159
	ANEXO E - Gráficos dos ensaios realizados	163

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa das províncias de Moçambique	4
Figura 2 - Distrito de Chicualacuala. Localização de Pafúri, Vila Eduardo Mondlane, Mahatlane (Reichel & Eucker, 2012)	6
Figura 3 - Planta centro comunitário de Malonguete	7
Figura 4 - Aldeia de Malonguete, Leito do rio Chefu, perto do centro comunitário de Malonguete (José Mourão, 2012).....	7
Figura 5 - Pilão e almofariz para moer a farinha de milho.....	10
Figura 6 - Objetivos e princípios do desenvolvimento sustentável (Adaptado de Rauch, 1997).....	13
Figura 7 – (a) Lifestraw portátil, (b) <i>LifeStraw Family</i> (Vestergaard, 2013) (Vestergaard, 2013).....	20
Figura 8 - Em cima à esquerda: Utilização de lâmpadas solares no Haiti depois da catástrofe natural; à direita: a lâmpada solar; à esquerda em baixo: carregadores de telemóveis solares (NOKERO, 2011).....	21
Figura 9 - Processo de fabrico do <i>charcoal</i> (Adaptado de <i>How to make charcoal briquettes</i> , (Smith, 2009)).....	22
Figura 10 - Ciclo para sustentabilidade financeira do projeto lifestraw (Foto: <i>Carbon For Life</i>)	24
Figura 11 - Reservatório PlayPump® com publicidade	26
Figura 12 - Tipos de construções de barragens subterrâneas a) Parede compactada de argila b) Parede de betão, c) Alvenaria de pedra, d) Betão reforçado, e) Parede de tijolo plastificada, f) Parede de madeira coberta por filme de plástico (Nilsson, 1988)	28
Figura 13 – Em cima: Construção manual de uma pequena barragem de terra requer participação comunitária, Em baixo: Dimensões e principais componentes de uma pequena barragem (1) Albufeira, (2) Parede da barragem com diversas camadas compactadas, (3) Núcleo central, (4) Cobertura com plantas apropriadas, (5) Dreno; (Fotos por Matt Gurtner)	29
Figura 14 - Reservatório de juta e resina melaminica (FAO, 2013).....	30
Figura 15 - Principais componentes da bomba de corda (RWSN, 2013).....	30
Figura 16 - Variações no tipo de acionamento das bombas de corda, manual, pedal, tração animal ou bicicleta (RopePumpOrg, 2013), (MayaPedal, 2013)	31

Figura 17 - Esquema de funcionamento da <i>PlayPump</i> ® (UNICEF, 2007)	32
Figura 18 – (a) Bomba <i>rower</i> (Baumann, 2011), (b) Componentes e funcionamento de uma bomba <i>Rower</i> (EWB, 2009)	33
Figura 19 - Componentes de uma bomba de pedal (Kay & Brabben, 2000)	34
Figura 20 – Em cima à esquerda: Influência de diferentes pressões nos sistemas de irrigação por aspersão, Em cima à direita: Utilização de bomba para pressurizar a água no sistema....	35
Figura 21 – Tipos de gotejadores, à esquerda gotejador on-line, à direita gotejador in-line ...	36
Figura 22 - Implementação de sistemas de irrigação AMG na África Ocidental (Fonte: ICRISAT)	37
Figura 23 - Sistemas AMG na República do Gana e na República do Benin (Fonte: ICRISAT).....	37
Figura 24 – Esquerda: Correta implementação de aproveitamento de águas da chuva e fertilização dos solos resulta na produção de melancias em solos arenosos, Direita: Formação da comunidade para a produção de mangas (Fonte: ICRISAT).....	38
Figura 25 – Sistema de irrigação de baixo custo da IDE (100m ²)	38
Figura 26 – Tipos de compósitos reforçados com fibras.....	40
Figura 27 – Exemplos de compósitos (a) particulados distribuídos aleatoriamente (b) fibras descontínuas unidirecionais, (b) fibras descontínuas dispostas aleatoriamente (c) fibras longas unidirecionais	41
Figura 28 – Secção transversal típica de caules de linho e Cânhamo	45
Figura 29 - Caule da planta de cânhamo evidenciando os longos feixes de fibras (P. Mutjé, López, Vallejos, & López, 2007)	46
Figura 30 - (a) Planta, folhas de sisal (usualmente 0,9-2,0 metros de comprimento) e (b) fibras de sisal	46
Figura 31 – Constituição da planta com destaque para parede primária e secundária e seus constituintes (Caroline Dahl).....	47
Figura 32 - Estrutura da unidade de celulose (Baillie, 2004)	48
Figura 33 – (a) Casa construída com engradamento de madeira (b) Construção com engradamento de madeira e revestimento com terra (c) Construção monolítica com revestimento do tipo <i>mud plaster</i> (Foto: Teresa Afonso, 2012).....	52

Figura 34 – (a) Terra utilizada na construção dos blocos (b) Blocos a secar, (c) Forno para queima dos blocos (d) Queima dos tijolos (e) Posto de saúde construído em terracota, finalizado, após revestimento e pintura edificado (Foto: Nuno Gonçalves, 2011)	53
Figura 35 - Sangramento da seringueira.....	56
Figura 36 – A árvore Mirra e a resina Mirra	57
Figura 37 - (a) A árvore, acácia e (b) a goma arábica	57
Figura 38 - Goma damar.....	58
Figura 39 - (a) Enrolamento filamentar com fibra de sisal, (b) Impregnação manual de um reservatório de juta e resina melaminica na Guatemala, (c) Reservatório de juta finalizado (FAO, 2013)	64
Figura 40 - Compósito de sisal e CNSL (Bisanda & Ansell, 1992).....	64
Figura 41 - Equipamento de rotomoldagem de acionamento alternativo (DesignBoom, 2009)	65
Figura 42 - Exemplo de uma peça produzida através de rotomoldagem manual (DesignBoom, 2009)....	65
Figura 43 - Sistema típico de irrigação por gotejamento (Yague, 1996)	68
Figura 44 - Esquema de sistema de irrigação gota-a-gota de baixo custo.....	69
Figura 45 – Módulos de irrigação gota-a-gota	69
Figura 46 - Microtubo de polietileno.....	72
Figura 47 - Esquema da horta.....	76
Figura 48 - Protótipo de sistema de irrigação no local	77
Figura 49 - Funcionamento da bomba de corda, detalhe para espaçamento entre vedantes	78
Figura 50 - Esboço de uma bomba de corda acionada com recurso a uma bicicleta	79
Figura 51 - Acessórios necessários para o sistema de irrigação	80
Figura 52 - Diferentes fases da extração manual do sisal, da esquerda para a direita: Transporte das folhas, Corte manual das folhas, desfibrção, lavagem das fibras.....	84
Figura 53 - Esquema de uma desfibradora	84
Figura 54 - Grupo funcional carboxila	87
Figura 55 – Principais constituintes da resina colofónia	88

Figura 56 - Correspondência da cor Gardner com o grau da resina colofónia (Caetano, 2011).....	88
Figura 57 – Esquematização dos processos de alteração da resina de colofónia (Caetano, 2011).....	90
Figura 58 – a) Povoação de pinheiros em Portugal, b) Produção de goma resina de 1977 a 1982, c) Localização da exploração de pinheiro para produção de resina atualmente.....	93
Figura 59 - (a) Equipamento para determinação do MFI (b) Corte do extrudido	96
Figura 60 – a) Ensaio a três pontos, b) Ensaio a quatro pontos.....	99
Figura 61 - Ensaio a provete de resina e fibra	100
Figura 62 - Geometria do provete.....	100
Figura 63 - Equipamento de medição de precisão.....	101
Figura 64 - Equipamento de medição da HDT	101
Figura 65 – Materiais utilizados nos trabalhos experimentais	102
Figura 66 – (a) Molde de madeira desmontável, revestido de filme desmoldante, (b) Molde de silicone.....	103
Figura 67 – Resultado da tentativa de produzir amostras de tamanho normalizado	103
Figura 68 – (a) (b) Moldes utilizados para produção dos provetes (c) Comparação entre as geometrias dos provetes.....	104
Figura 69 – (a) Equipamento utilizado para polir as amostras, (b) melhorias na secção da amostra	104
Figura 70 - Resultado da mistura de areia e colofónia	105
Figura 71 - Tubos produzidos manualmente, por aquecimento e diluição de resina	105
Figura 72 - (a) (b) tubos produzidos manualmente por aquecimento, (c) tubo produzido por diluição da resina e cura na estufa, (d) tubo produzido com álcool e cura ao ar ambiente (ângulo de enrolamento diferente de 90 ou 0°), (e) tubo produzido com álcool (ângulo de enrolamento 90°).....	106
Figura 73 - (a) Equipamento de enrolamento filamental do INEGI, (b) Fibra de sisal contínua (c) Resina colofónia diluída em álcool	107
Figura 74 – (a) Superfície interior do tubo enrolado mecanicamente, (b) desagregação de material da superfície exterior do tubo	107
Figura 75 - À esquerda, tubo enrolado mecanicamente, à direita tubo enrolado manualmente	107

Figura 76 - (a) Vazamento de resina diluída em álcool em fibras de 25 mm (b) em cima: amostra produzida com álcool, em baixo: amostra produzida por aquecimento.....	108
Figura 77 – Disco elétrico utilizado para aquecer a colofónia ou mistura	109
Figura 78 - Provetes CC, CFC e CFE, CA e CFA para ensaio à flexão.....	110
Figura 79 – À esquerda: superfície de fratura da amostra CE, à direita: Visualização da fratura ao microscópio, pormenor das porosidades.....	113
Figura 80 - Amostra depois de inserida em água, pormenor de quebra da matriz devido à expansão da fibra	114
Figura 81 - Amostra de colofónia no final do ensaio HDT	116
Figura 82 – À esquerda: Utilização de lixas nas amarras do provete, no meio: utilização de fita adesiva, à direita: escorregamento do provete dentro da fita adesiva	117
Figura 83 - Exemplos de geometrias e formas alternativas de tracionar o provete.....	119
Figura 84 – Esquematisação da perspectiva holística da situação de Malonguete	121
Figura 85 - Esboço explicativo da combinação do movimento de rotação com o movimento transversal (vista de cima)	124
Figura 86 - Sistema biela-manivela	125
Figura 87 – À esquerda: transmissão de movimentos entre veios de eixos paralelos (Filho, 2009), À direita: transmissão de movimentos entre veios de eixos perpendiculares (Carlisle, 2007).....	126
Figura 88 - Dimensões principais de um sistema correia-polia, para correias em V (Adaptado de (Filho, 2009)).....	126
Figura 89 - Dimensões principais de sistema de correia-polia, para correias torcidas (Adaptado de.....)	127
Figura 90 – Protótipo do equipamento de enrolamento filamentar acionado manualmente ..	129
Figura 91 - Vista de cima e lateral.....	130
Figura 92 - Representação do protótipo com correias	130
Figura 93 - Polia de diâmetro menor (50 mm) com entalhes	131
Figura 94 - Detalhe do entalhe (vista em corte)	132

Figura 95 – Protótipo da bomba de corda	133
Figura 96 - Prova do conceito.....	134
Figura 97 - Esquema de um filtro de areia	135
Figura 98 - Emissores alternativos (a) micro tubo com corda de nylon na ponta (Hazeltine, 2003) (b) emissor efetuado com prego quente e corda de nylon na ponta (b) emissor efetuado com prego frio e corda de nylon na ponta (c) emissor com cotonete (Tamele, 2007)	136
Figura 99 - Gotejadores alternativos (ARC, 2006).....	136
Figura 100 - Condensador de água	139
Figura 101 – Saco de transpiração.....	140
Figura 102 - Hippo Roller	140
Figura 103 – Mapa de tecnologias apropriadas para extração de água em áreas rurais (World Bank, 2012)	153

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Curva granulométrica da amostra de Malonguete	98
Gráfico 2 - Curva granulométricas das amostras disponibilizadas pelo DEC.....	99
Gráfico 3 - Comparação entre valores médios e desvios padrão para tensão de rotura à flexão para as diferentes amostras	112
Gráfico 4 - Comparação entre valor médio e desvio padrão para deformação após rotura à flexão para as diferentes amostras	112
Gráfico 5 - Comparação entre valor médio e desvio padrão para módulo de Young à flexão para as diferentes amostras	112
Gráfico 6 - Comparação entre valores médios e desvios padrão para tensão de rotura à flexão	113
Gráfico 7 - Comparação entre valores médios e desvios padrão para a deformação após rotura	114
Gráfico 8 - Comparação entre valores médios e desvios padrão para Módulo de Young à flexão ...	114
Gráfico 9 - Gráfico de % de massa de água absorvida em relação ao tempo.....	115
Gráfico 10 - Gráfico tensão-deformação à flexão CC.....	163
Gráfico 11 - Gráfico tensão-deformação à flexão CE	163
Gráfico 12 - Gráfico tensão-deformação à flexão do compósito CCF	164
Gráfico 13 - Gráfico tensão-deformação à flexão do compósito CFE	164
Gráfico 14 - Gráfico tensão-deformação à flexão do compósito CA	165
Gráfico 15 - Gráfico tensão-deformação à flexão do compósito CAF.....	165
Gráfico 16 - Gráfico tensão-deformação das amostras CC	166
Gráfico 17 - Gráfico tensão-deformação das amostras CE	166
Gráfico 18 - Gráfico tensão-deformação das amostras CCF20	167
Gráfico 19 - Gráfico do HDT	168

INDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Matriz da importância das culturas segundo o género(Ricardo & P.M.H., 1996)	8
Tabela 2 - Evolução das diferentes ideologias de desenvolvimento (Rauch, 1997)	13
Tabela 3 - Vantagens e desvantagens de sistemas de irrigação por gotejamento.....	36
Tabela 4 - Eficiência do reforço da fibra para alguns ângulos de orientação da fibra em relação à direção da solicitação	44
Tabela 5 - Fibras naturais mais comercializadas(Faruk, Biedzki, Fink, & Sain, 2011)	45
Tabela 6 - Fatores que afetam as propriedades das fibras naturais	47
Tabela 7 - Variações nas quantidades relativas de constituintes das fibras selecionadas(Dittenber & GangaRao, 2011)	48
Tabela 8 - Dimensões características de algumas fibras vegetais	49
Tabela 9 - Compilação das propriedades físicas das fibras selecionadas (Dittenber & GangaRao, 2011), (Romão, 2012).....	50
Tabela 10 - Principais técnicas construtivas artesanais (Adaptado de (Pacheco Torgal & Jalali, 2011))..	51
Tabela 11 - Revestimentos superficiais	52
Tabela 12 - Principais diferenças entre polímeros termoplásticos e termoendurecíveis	54
Tabela 13 - Gomas naturais e gomas modificadas (adaptado de (Feitosa Rodrigues, Célia M. de Paul, & M. O. Costa, 1993)).....	55
Tabela 14 - Polímeros naturais e localização geográfica (Adaptado de (Jones, 2007), (Agnoli & Zanchetta, 2009))(Feitosa Rodrigues, Célia M. de Paul, & M. O. Costa, 1993))	59
Tabela 15 - Especificações e métricas ((Petersen, 2006), (RWSN, 2013), (EWB, 2009))	67
Tabela 16 – Considerações iniciais no sistema de irrigação para cada espécie de planta	71
Tabela 17 - Necessidades de rega das culturas selecionadas (adaptado de (Tamele, 2007)) ...	71
Tabela 18 – Especificações do emissor selecionado (ANEXO B, (iDE, 2003)).....	72
Tabela 19 - Período de irrigação para as diferentes culturas	72
Tabela 20 – Comprimento de tubos de linhas laterais 14 e 16 mm de diâmetro, em metros (Adaptado de (iDE, 2003))	74

Tabela 21 – Comprimento de tubos das linhas principais de 32 a 48mm de diâmetro (em metros).....	74
Tabela 22 - Resultado do dimensionamento hidráulico	75
Tabela 23 – Parâmetros para o planeamento da horta	76
Tabela 24 - Diâmetro das tubagens de acordo com a profundidade do poço (Erpf, 2005)	78
Tabela 25 - Especificações da bomba de corda	79
Tabela 26 - Itens necessários para a montagem de um módulo de irrigação	80
Tabela 27 – Lista de principais componentes e custo dos sistemas de extração e irrigação (Adaptado de(Tamele, 2007), (iDE, 2003), (RopePumpOrg, 2013) e catálogo de materiais de canalização)	80
Tabela 28 - Propriedades da resina colofónia fornecida pela Eurochemicals Portugal S.A. ...	89
Tabela 29 – Comparação de características químicas dos diferentes tipos de colofónia	89
Tabela 30 - Parâmetros de solubilidade de solventes da colofónia	90
Tabela 31 - Comparação entre propriedades da resina colofónia, resinas de colofónia portuguesas modificadas, e resinas colofónia portuguesas hidrogenadas, dimerizadas e esterificadas, (adaptado de (Caetano, 2011)).....	91
Tabela 32 - Linhas para uma estratégia, oportunidades e ameaças	94
Tabela 33 - Resultados do ensaio	97
Tabela 35 - Descrição do procedimento experimental	97
Tabela 36 - Comparação entre os pesos volúnicos e densidades das duas amostras de solo ..	99
Tabela 37 - Especificações do ensaio de flexão	100
Tabela 38 - Constituintes das amostras e procedimento.....	110
Tabela 39 - Resultados do primeiro ensaio de flexão.....	111
Tabela 40 - Resultados do segundo ensaio de flexão	113
Tabela 41 - Considerações acerca do ângulo de enrolamento da fibra	124
Tabela 42 – Dados iniciais para os dois tubos propostos	125
Tabela 43 - Relação de transmissão para os diferentes tubos.....	128

Tabela 44 - Sequência de reduções para o enrolamento dos dois tubos.....	128
Tabela 45 - Distância entre centros para as diferentes transmissões.....	129
Tabela 46 – Número de entalhes nas polias movidas.....	131
Tabela 47 - Caudais de gotejadores alternativos (adaptado de (Tamele, 2007),(Hazeltine, 2003))	136
Tabela 48 – Relação C:N para resíduos orgânicos (adaptado de (Garcez, Sartori, & Oliveira, 2008).....	138
Tabela 49 - Evapotranspiração de referência (ET _o) do tomate, em mm/dia, em função da temperatura e humidade relativa média mensal do ar.	156
Tabela 50 - Coeficiente de cultura (K _c), profundidade efetiva média do sistema radicular (Z) e problemas associados à irrigação inadequada nos diferentes estágios de desenvolvimento da cultura do tomateiro.....	156
Tabela 51 - Disponibilidade real média de água no solo para tomateiro, para diferentes tipos de solos.	156

INDICE DE EQUAÇÕES

Equação 1- Lei das misturas para materiais compósitos de fibras unidirecionais.....	43
Equação 2 - Adaptação da lei das misturas pela teoria da micromecânica para compósitos reforçados com fibras não unidirecionais e particulados (Casaril, Rovaris Gomes, Roberto Soares, Celso Fredel, & Ali Al-Qureshi, 2007).....	44
Equação 3 – Densidade da energia coesiva	62
Equação 4 – Parâmetro de solubilidade de Hildebrand	62
Equação 5 - Cálculo do tempo de operação	71
Equação 6 – Equação de Hazen-Williams.....	73
Equação 7 - Cálculo da taxa de descarga específica na lateral.....	73
Equação 8 - Cálculo da taxa de descarga específica na linha principal	74
Equação 9 – Cálculo do MFI.....	96
Equação 10 – Cálculo de tensão de rotura, flecha e módulo de Young	100
Equação 11 – Determinação das principais dimensões de correias em V (Filho, 2009).....	127
Equação 12 - Cálculo da distância entre centros de polias torcidas	127
Equação 13 – Cálculo de diâmetro das polias (Filho, 2009)	127

SIMBOLOGIA E NOMENCLATURA

β	Fator de eficiência do reforço de fibras
γ	Função da razão entre a tensão de cisalhamento na interface matriz/partícula e a tensão de cisalhamento da matriz
δ	Coeficiente de Hildebrand (MPa ^{1/2})
ε_f	Deformação após rotura (%)
$\theta_{1,2}$	Ângulo de abraçamento (rad)
σ_f	Tensão de rotura à flexão (MPa)
λ	Eficiência do recobrimento das fases presentes por parte da matriz,
c	Distância entre centros (mm)
C	Fator de Hazen-Williams
CD	Distância entre centros, para polias torcidas (m)
D	Diâmetro da polia maior (mm)
d	diâmetro da polia menor (mm)
D_i	Diâmetro interior (m)
D_L	Diâmetro interno tubagem lateral (mm)
D_P	Diâmetro interno tubagem principal (mm)
E_f	Módulo de elasticidade à Flexão (GPa)
F	Largura da polia (mm)
h	Espessura da secção do provete (mm)
H_f	Perda de carga (m)
i	Relação de transmissão
L	Distância entre apoios (mm)
L_c	Comprimento da correia (mm)
L_e	Espaçamento entre plantas (m)
L_L	Comprimento da lateral (m)
L_L	Comprimento das linhas laterais (m)

L_p	Comprimento da linha principal (m)
n	Velocidade de rotação (RPM)
NA	Necessidade de água (litros/dia)
P	Propriedade do compósito
P_f	Propriedade da fibra
P_m	Propriedade da matriz
P_p	Propriedade do particulado
Q	Descarga total das laterais (m^3/s)
Q	Descarga total nas laterais (l/h)
Q_e	Caudal do emissor (l/h)
Q_L	Caudal na linha principal (l/s)
s	Flecha (mm)
TA	Taxa de aplicação, isto é, caudal do gotejador (litros/hora)
TO	Tempo de operação (horas/dia)
V_f	Fração volúmica da fibra
V_m	Fração volúmica da matriz
V_p	Fração volúmica do particulado
w	Largura da secção do provete (mm)
Y	Desvio entre centros (rad)
MFI	<i>Melt Flow Index</i>
HDT	<i>Heat Deflection Temperature</i>
DSC	<i>Differential Scanning Calorimetry</i>
$CETL$	Coefficiente de Expansão Térmica Linear

1. INTRODUÇÃO

1.1. Organização da dissertação

A dissertação encontra-se dividida em sete capítulos.

No capítulo 1 introduz-se o problema e o local do projeto.

O capítulo 2 dedica-se à recolha bibliográfica de três temas essenciais à realização do projeto: desenvolvimento sustentável, tecnologias apropriadas na extração, armazenamento e distribuição de água e finalmente o uso de materiais de origem vegetal em materiais compósitos.

No capítulo 3 apresenta-se o desenvolvimento do conceito: a criação da ideia, dimensionamentos necessários e custos associados.

No capítulo 4 são apresentados os materiais selecionados, explica-se a relação com a visão do projeto, justificando assim a sua escolha, e efetua-se uma caracterização sucinta dos mesmos.

No capítulo 5 descrevem-se os trabalhos experimentais, incluindo tanto a descrição dos procedimentos e dos ensaios de caracterização mecânica, como a discussão dos resultados.

O capítulo 6 explora a aplicação de Tecnologias Apropriadas no Projeto Autarkeia.

Finalmente, o capítulo 7 apresenta as conclusões e sugere trabalhos futuros para o projeto.

1.2. Descrição do problema

O *Projeto Autarkeia* é um projeto de desenvolvimento da comunidade rural de Malonguete. A missão reside na criação e promoção de formas de desenvolvimento adequadas, sendo que a visão passa pela determinação da autossuficiência da comunidade, isto é, pretende-se que os indivíduos sejam dotados de recursos e que saibam tirar proveito dos mesmos de uma forma autónoma e que, desse modo, sejam capazes, daí em diante, de assumirem responsabilidade pelo seu próprio desenvolvimento.

A comunidade de Malonguete encontra-se situada num local de fraca acessibilidade, no distrito de Chicualacuala, norte da Província de Gaza, em Moçambique, nas proximidades da fronteira com o Zimbábue. Este projeto foi iniciado pela EpDAH¹, em 2009. O contacto com

¹ Engenharia para o Desenvolvimento e Assistência Humanitária (organização de estudantes de Engenharia sem

o DEMec (Departamento de Engenharia Mecânica da FEUP) foi efetuado pela associação no sentido de solicitar uma colaboração técnica para o *Autarkeia*.

Em Moçambique, a base da alimentação é a *xima*, produzida através da farinha de milho. Em comunidades rurais o milho é moído manualmente através do recurso ao método tradicional do pilão e almofariz, prática que ocupa cerca de 3 horas diárias de trabalho a mulheres e crianças. Além de ser um trabalho exaustivo, é também uma forma de exclusão social, tanto das mulheres às quais a tarefa é atribuída por defeito, como das crianças que ocasionalmente podem chegar a não frequentar a escola para realizarem a tarefa.

A EpDAH funciona em regime de voluntariado, enviando equipas para Malonguete uma vez por ano, pelo período de um a dois meses. Nessas visitas são averiguadas as necessidades da população e geralmente são implementados os projetos do ano anterior. Entre outros pedidos, a população feminina manifestou vontade de adquirir uma solução que permitisse reduzir o tempo e o cansaço associados à moagem do milho (ver ANEXO A). Inicialmente, foi neste sentido que o DEMec foi contactado, tendo sido solicitado um sistema de moagem mecânico sem recurso a energia elétrica, inexistente na aldeia.

Em Agosto de 2012, após o regresso da equipa da EpDAH, foi relatado que a população vivia uma situação grave de fome, subsistindo apenas de reservas de farinha de milho. Esse ano foi particularmente seco, refletindo-se na agricultura: horta comunitária não teve produção e a população vivia uma típica situação de insegurança alimentar, muito comum noutros locais semelhantes, tanto em África como noutros continentes. Este cenário motivou a redefinição das prioridades do projeto *Autarkeia*.

A agricultura é a prática de subsistência mais comum por todo Moçambique, particularmente em Malonguete, um local de fraca acessibilidade no qual a população vive em pobreza extrema. A imprevisibilidade climática e o deficiente acesso à água tornam a agricultura uma prática de retorno imprevisível. Esta instabilidade permite afirmar que relativamente à segurança alimentar a população vive numa “corda bamba”. Perante estas observações, e durante as reuniões mais recentes com a comunidade, compreendeu-se que a necessidade mais urgente é garantir estabilidade na obtenção de água e um processo que garanta produção agrícola.

Assim sendo, pretende-se com este trabalho efetuar uma sequência lógica de resolução de problemas, baseada nas necessidades do utilizador, ou por outras palavras, assente nos princípios da metodologia do desenvolvimento do produto: primeiramente equacionar o

problema de segurança alimentar e, posteriormente, considerar o problema de moagem mecânica dos alimentos.

Nesta dissertação pretende-se realizar uma reflexão crítica acerca do papel de um engenheiro nos tempos modernos e propor uma solução integrada para os problemas de Malonguete. Problemas de segurança alimentar, e outras situações relativas ao desenvolvimento, seja rural ou urbano, exigem cada vez mais uma cuidadosa análise e estratégia devido à complexidade técnica e à envolvimento de diversas entidades. Assim, procura-se estabelecer uma metodologia que se destaque não só pela qualidade, mas também pela importância da consciencialização das responsabilidades sociais e humanas de um engenheiro. A interpretação destes pressupostos requer, entre outros, a utilização de recursos disponíveis no local, ou por outras palavras, o uso de tecnologias adequadas, que de uma forma geral reduzam impactos sociais e económicos.

Deste modo, o foco deste trabalho consiste na obtenção de uma solução para a extração, armazenamento e distribuição de água, recorrendo tanto quanto possível aos recursos naturais e capital humano de Malonguete. Para alcançar este objetivo estudaram-se tecnologias apropriadas nomeadamente o uso de resinas, fibras e outras matérias-primas naturais e a sua utilização como materiais compósitos na construção de infraestruturas para um sistema de extração e irrigação de água.

1.3. Caracterização do local

1.3.1. Distrito de Chicualacuala

O distrito de Chicualacuala situa-se no Norte da Província de Gaza, fazendo fronteira, a norte, com a República do Zimbábue. O distrito tem uma superfície de 18243 km². A Vila Eduardo Mondlane é a capital de distrito de Chicualacuala, sendo a localidade mais desenvolvida nas proximidades da aldeia de Malonguete, situada a cerca de 90 km. Chicualacuala conta com uma população de 38780 habitantes dos quais 17441 são homens e 21339 são mulheres, com uma densidade populacional de 2.1 habitantes/km². Existem três postos administrativos, nomeadamente: Eduardo Mondlane (sede do distrito), Pafúri e Mapai.

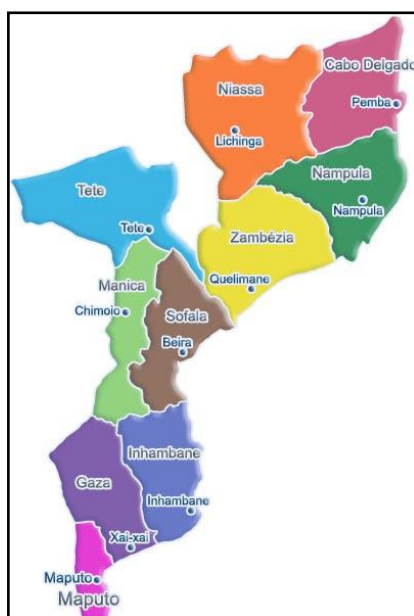


Figura 1 - Mapa das províncias de Moçambique

Caracterização socioeconómica da população

Em termos económicos, o distrito de Chicualacuala é um dos menos desenvolvidos da província, a aldeia Malonguete é um forte exemplo da precariedade do distrito. Em toda a província, a agricultura é praticada em pequena escala contribuindo para a economia através da produção para consumo próprio e venda de excedentes agrícolas, que no caso de Malonguete, geralmente não existem. A agricultura de subsistência e a caça são a base de sobrevivência de grande parte dos habitantes de Malonguete, sendo que a posse de gado constitui uma marca de riqueza e diferenciação social entre os habitantes.

Considerando o modo de vida da população do distrito os recursos mais importantes são: terra para agricultura, água e florestas (recursos naturais), instrumentos agrários, estrada, caminhos de ferro (recursos físicos), venda de gado, culturas agrícolas e acesso ao mercado (recursos financeiros), habilidades técnicas agropecuárias (recursos humanos) e Igrejas e ONGs (recursos sociais).

No que se refere ao bem-estar, o padrão dominante e generalizado é o de famílias sem eletricidade dispondo de uma bicicleta em cada seis famílias e vivendo em palhotas, sem latrinas, e água colhida diretamente de poços, furos, rios periódicos e lagoas.

Relativamente a reservas alimentares, parte considerável das famílias cria animais de pequeno porte e dependem principalmente da produção obtida nas hortas. As famílias da classe alta e

médias, para além de animais de pequena porte, possuem também bovinos e outros rendimentos.

A Vila de Eduardo Mondlane é a zona que apresenta maior número de casas de alvenaria, na sua maioria pertencentes aos Caminhos de Ferro de Moçambique (CFM).

Transportes

Os serviços de transporte público de passageiros e carga são feitos, fundamentalmente, por viaturas do sector informal e através de comboio de transporte de passageiros, que circula uma vez por semana (Maputo/Chicualacuala), e de mercadoria, que circula duas vezes por semana fazendo a ligação entre Moçambique e o Zimbabwe e vice-versa. O tempo de viagem até Maputo é variável, nunca demorando menos de 24 horas. A distância entre a Vila Eduardo Mondlane e Maputo é de cerca de 500 km. No regime mais económico a viagem tem o preço de 500 meticais, cerca de 12 euros.

O estado precário das vias de acesso constitui um obstáculo para o desenvolvimento da província. Esta situação torna-se crítica no tempo chuvoso, uma vez que a via principal (EN-221) se torna intransitável em alguns troços.

Pobreza, Vulnerabilidade e Insegurança Alimentar e Nutricional

O distrito possui potencial para produção pecuária, exploração florestal e fauna bravia, mas a fraca capacidade de aproveitamento dos recursos existentes e a permanência de precipitações irregulares e baixas tornam as populações vulneráveis à pobreza (GM, 2010).

1.3.2. Comunidade Malonguete

Localização geográfica

As coordenadas geográficas de Malonguete são desconhecidas, contudo conhece-se a localização da aldeia de Mahatlane, situada a 12 km de Malonguete (21°58'07''S e 32°06'47''E). Mahatlane trata-se de uma aldeia de maiores dimensões na qual se encontra, entre outras infraestruturas, o hospital mais próximo. O acesso até a Vila Eduardo Mondlane, situada a cerca de 90 km, efetua-se pela única estrada existente, que se trata de um trilho arenoso. Este trilho faz a ligação entre todas as aldeias da região. Existe um veículo que

efetua o transporte até à vila, duas vezes por semana (ver ANEXO A). O preço deste transporte ronda os 90 meticais (cerca de 2,5 euros).

Na Figura 2 apresenta-se um mapa do norte da província, destacando-se a localização da vila Eduardo Mondlane e Mahatlane.

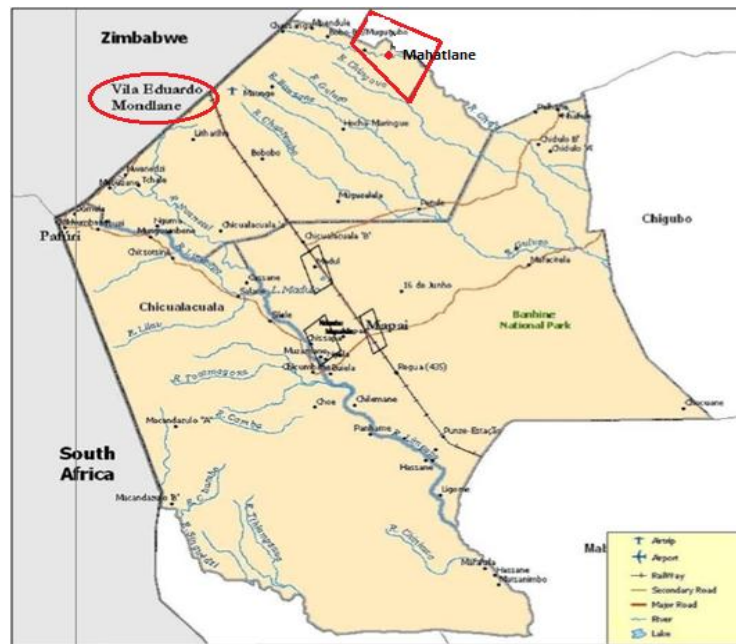


Figura 2 - Distrito de Chicualacuala. Localização de Pafúri, Vila Eduardo Mondlane, Mahatlane (Reichel & Eucker, 2012)

Divisão Administrativa

A aldeia de Malonguete encontra-se dividida num centro comunitário e em cinco blocos, geridos por uma autoridade eleita democraticamente, o régulo da aldeia. O régulo funciona como o elo político entre a aldeia e as autoridades do distrito e do país, deslocando-se à Vila Eduardo Mondlane para reuniões de interesse do desenvolvimento sociopolítico de Malonguete.

Organização da aldeia

No centro comunitário existem três salas de aula, uma horta comunitária, um posto de saúde em desuso e três casas dos professores.

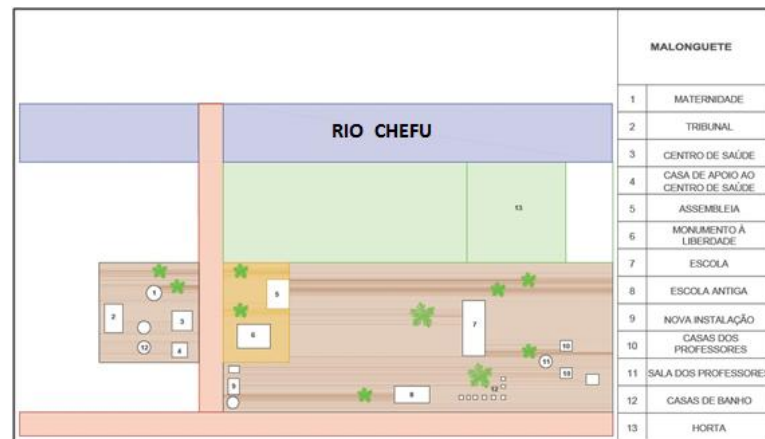


Figura 3 - Planta centro comunitário de Malonguete

Os cinco blocos encontram-se dispersos num raio de cerca de quatro quilómetros. De uma forma geral a população procura estabelecer-se próximo do rio, de modo a tornar menos cansativo o transporte de água.



Figura 4 - Aldeia de Malonguete, Leito do rio Chefu, perto do centro comunitário de Malonguete (José Mourão, 2012)

Clima

O clima do distrito é tropical seco, sendo considerado semiárido em algumas localidades, tais como Malonguete. Apresenta duas estações sendo uma seca ou fresca que vai de Abril a Agosto e outra chuvosa ou quente de Setembro a Março. A precipitação média anual é de 493 mm. A temperatura média anual é de 25°C.

O cenário atrás descrito deverá, certamente, ser influenciado pelas atuais mudanças climáticas. Assim sendo, importa reter alguns aspetos sobre projeções e cenários futuros. Num período de 46 anos (1960-2006), verificou-se que as tendências de aumento foram particularmente maiores para as temperaturas mínimas durante o final do verão (Março, Abril e Maio) e no inverno (Junho, Julho e Agosto), especialmente na zona sul (INGC, 2009). A temperatura média anual aumentou em 0,6°C de 1960 a 2006, uma média de 0,13°C por

década. Em termos de ocorrência de calamidades as regiões de clima tropical seco como é o caso de Chicualacuala estão cada vez mais suscetíveis à ocorrência de secas.

Prevê-se um aumento da temperatura anual de 1,0 a 2,8°C até 2060 e de 1,4 a 4,6°C até 2090. O aumento da temperatura e do potencial de evapotranspiração² é maior que o previsto para as zonas costeiras, principalmente para o vale do Limpopo nos períodos de Setembro, Outubro e Novembro. O INGC sugere um aumento significativo da evaporação nesta região antes do início da estação chuvosa que pode resultar na redução da humidade do solo antes do início da época agrícola, tornando a região mais propensa a secas.

Atualmente, o período chuvoso inicia-se em Dezembro e termina em Fevereiro, sendo que no passado se iniciava em Setembro e terminava em Abril (INGC, 2009).

Agricultura

Normalmente em climas semiáridos o maior problema relaciona-se com a obtenção de água. Não é comum praticar-se a rotação de culturas, uma vez que existe terra suficiente para se abrir novas hortas. As consociações³ mais frequentes são milho-feijão nhemba, milho-amendoim e milho-feijão jugo, aparecendo por vezes milho-amendoim-feijão nhemba (GM, 2010). Os principais intervenientes na agricultura são o governo e parceiros ligados ao sector, que são responsáveis pela transmissão de técnicas e fornecimento de matérias-primas. As principais culturas alimentares praticadas no distrito são a mapira, mexoeira, milho, feijão nhemba, amendoim, abóboras, melancia, batata-doce, mandioca e hortícolas, tais como, tomate, couve, repolho, cebola, entre outras.

A Tabela 1 mostra as culturas praticadas segundo ordem de importância indicada por homens e mulheres, no distrito de Chicualacuala.

Tabela 1 - Matriz da importância das culturas segundo o género (Ricardo & P.M.H., 1996)

Importância	Homens (18-55 anos)	Mulheres (20-55 anos)
1	Mapira	Mapira
2	Mexoeira	Feijão nhemba
3	Milho	Milho
4	Feijão nhemba	Mexoeira
5	Feijão jugo	Feijão jugo
6	Amendoim	Amendoim
7	Mandioca	Mandioca

² Evapotranspiração: perda de água do solo por evaporação e a perda de água da planta por transpiração.

³ Conjugação de culturas no mesmo espaço de cultivo

EpDAH em Malonguete

A EpDAH⁴ desenvolve trabalho em Malonguete desde 2009. O envolvimento entre a associação e a comunidade surgiu do interesse de alunos em desenvolver trabalho de desenvolvimento que passasse pelo uso de Engenharia e o contacto com outras associações que desenvolvem trabalho humanitário na Província de Gaza.

O projeto da EpDAH em Malonguete denomina-se *Autarkeia* e compreende diversas fases, tendo como objetivos finais a criação de infraestruturas (salas de aula, centro de saúde, sistemas de irrigação) e o estabelecimento de mecanismos que permitam a autossuficiência pela geração de fontes de rendimento sustentável (microeconomias).

Todos os anos são enviados voluntários para Malonguete com o intuito de dar continuidade ao trabalho do ano anterior e acrescentar-lhes novos desenvolvimentos, mediante a vontade da população. As intervenções ocorrem, geralmente, entre Junho e Setembro.

A EpDAH pretende, na medida do que está ao seu alcance, dotar a comunidade de ferramentas que permitam autonomia dos cidadãos, portanto qualquer prática que sugira dependência não está de acordo com os seus objetivos. O método da EpDAH passa pela averiguação das necessidades da população e apresentação de propostas de solução, cuja implementação passa pelo envolvimento da população.

No final do projeto, antes do regresso dos voluntários, é realizada uma nova reunião na qual se faz um balanço e são efetuadas críticas construtivas e se apontam novas direções para trabalhos futuros.

Em 2009, o primeiro ano, apenas foram apresentados os voluntários à comunidade, foram averiguadas as necessidades e retirados alguns dados sobre a comunidade para se dar início ao projeto. Em 2010 foi construída a primeira sala de sala de aula, em 2011 foi construído o centro de saúde e em 2012 foram efetuadas alterações e terminadas as duas infraestruturas existentes.

Em 2011, um dos problemas apresentados pelas mulheres de Malonguete relacionava-se com a exaustão do trabalho de moer o milho pelo método tradicional do pilão e almofariz.

⁴ Engenharia para o Desenvolvimento e Assistência Humanitária (associação sem fins lucrativos)



Figura 5 - Pilão e almofariz para moer a farinha de milho

Na última intervenção o cenário em Malonguete era, do ponto de vista da segurança alimentar, caótico. O ano de 2012 foi particularmente seco e a produção na horta comunitária foi nula. Naturalmente, não existindo produção agrícola, deixou de fazer sentido encontrar uma solução para a moagem de alimentos. O foco do projeto *Autarkeia* passou a ser encontrar uma solução apropriada para reduzir a vulnerabilidade da comunidade.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O caso apresentado neste trabalho envolve essencialmente a interação de três temas: desenvolvimento sustentável, tecnologias apropriadas e uso de materiais de origem natural em materiais compósitos. Neste capítulo reúne-se o resultado da pesquisa bibliográfica alusiva aos referidos temas.

Um dos objetivos deste trabalho é mostrar indispensabilidade de uma abordagem integrada entre a Engenharia e as ciências sociais. Para o efeito apresentam-se, na primeira parte do capítulo, um conjunto de conceitos, nomeadamente a temática da transferência de tecnologias, a identidade cultural, a apropriação de tecnologias a diferentes contextos culturais, a visão holística e envolvimento das autoridades políticas locais. Após assimilados, e devidamente reportados à prática de Engenharia, estes conceitos constituem as bases necessárias à implementação e durabilidade de projetos sustentáveis.

Seguindo uma metodologia análoga à do desenvolvimento do produto, é apresentado na segunda parte do capítulo o resultado da pesquisa de tecnologias apropriadas para a realização de extração, armazenamento e distribuição de água em locais semelhantes a Malonguete, o *benchmarking*.

Por último é mostrado um resumo do uso de materiais de origem vegetal em materiais compósitos, dado o potencial que estes materiais podem representar em termos de criação de soluções tecnologicamente apropriadas.

2.1. Desenvolvimento sustentável

A sustentabilidade de um projeto passa pela sua correta implementação e perduração no tempo, exigindo uma metodologia e estratégia bem suportadas.

A análise da evolução do conceito de desenvolvimento sustentável permite perceber a necessidade de explorar não só temas de carácter técnico, como também de carácter social e humano.

2.1.1. Desenvolvimento

Desenvolvimento é o processo pelo qual se altera uma situação insatisfatória, negativa, para uma melhorada, onde certos problemas não persistem. Desenvolvimento envolve o alcance das necessidades básicas. Intervenções de desenvolvimento têm como objetivo promover a capacidade, das pessoas e das instituições sociais, de satisfazerem as suas necessidades básicas, utilizando recursos naturais disponíveis (sem perigo para eles).

2.1.2. Sustentabilidade de um projeto de desenvolvimento

Sustentabilidade significa perduração dos efeitos positivos de um projeto depois do apoio externo ser retirado, isto é, capacidade da população e instituições para resolver problemas fora das condições-padrão, por outras palavras, a capacidade de se adaptar a eventuais alterações com as novas ferramentas. A sustentabilidade é um conceito que se pensa e implementa desde a primeira fase da concepção do produto, mas que se mantém também durante o período útil de vida do mesmo, onde se exige:

- A prevenção da degradação de recursos naturais (sustentabilidade ecológica);
- Um programa de promoção adaptado às condições de mercado previsíveis (sustentabilidade económica);
- A capacidade dos grupos-alvo e/ou organizações que lhes fornecem serviços para manter as condições necessárias para as melhorias alcançadas, sem apoio externo (sustentabilidade organizacional);

Assim, a importância reside não só na manutenção a longo prazo das atividades, mas também na manutenção do nível de objetivos alcançados (por exemplo, melhoria ou estabilização das condições de vida) (Rauch, 1997).

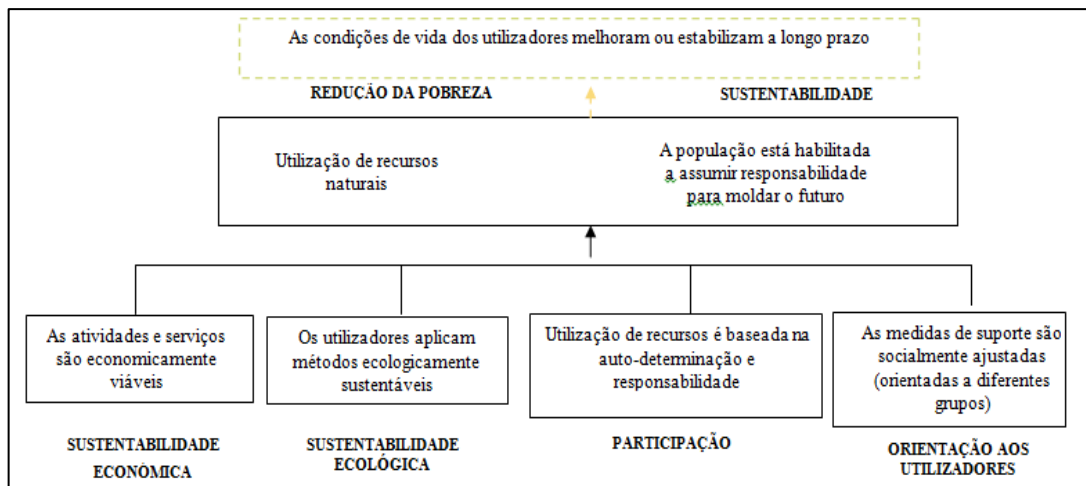


Figura 6 - Objetivos e princípios do desenvolvimento sustentável (Adaptado de Rauch, 1997)

2.1.3. Evolução do conceito de desenvolvimento sustentável

O desenvolvimento é um conceito que tem, ao longo do tempo, passado por modificações. Desde a década de 60, com a criação do PNUD⁵ tem-se vindo a falar cada vez mais do desenvolvimento sustentável. Entendia-se, em 1987, que a humanidade tem a responsabilidade de proporcionar um desenvolvimento sustentável, sendo que este deve atender às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem às suas necessidades (CMMAD, 1987). Até aos dias de hoje, ocorreram, promovidos pela mesma entidade, diversos encontros e tomaram-se compromissos dos quais nasceram outros acordos, tais como a Agenda 21 e Objetivos do Milénio. Na Tabela 2 apresenta-se uma cronologia das diferentes ideologias relativas a estratégias na área do desenvolvimento.

Tabela 2 - Evolução das diferentes ideologias de desenvolvimento (Rauch, 1997)

Ideologia	Período	Estratégia	Lições aprendidas
Ideologia da fase de crescimento	Décadas de 50 e 60	<ul style="list-style-type: none"> Projetos monosetoriais/medidas para ultrapassar <i>bottlenecks</i> isolados Modernização intensiva (utilização de recursos externos) 	<ul style="list-style-type: none"> Medidas isoladas não funcionam Necessidades básicas continuam incumpridas Ecologicamente instável Necessidade de ajuda externa é elevada

⁵ Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

Ideologia da fase de distribuição	Desde 1967	<ul style="list-style-type: none"> • Projetos multissetoriais (medidas complementares) 	<ul style="list-style-type: none"> • A classe de pessoas pobres não é uma massa homogênea
	Desde 1973	<ul style="list-style-type: none"> • Orientação às necessidades básicas (indicadores das Nações Unidas) 	<ul style="list-style-type: none"> • Diferenciar pessoas por grupos alvo é uma atitude cultural e politicamente sensata
	Desde 1975	<ul style="list-style-type: none"> • Orientação à pobreza • Orientação a utilizadores-alvo • Orientação ecológica 	<ul style="list-style-type: none"> • Planeamento paternalista pode minar autoconfiança dos destinatários; • Implementação que passa por instituições governamentais põe em risco a sustentabilidade • Nem sempre economicamente viável e socialmente/ politicamente aceitável ou sustentável no longo prazo
Ideologia da fase da emancipação	Início da década de 80	<ul style="list-style-type: none"> • Participação • Sustentabilidade • Orientação ao género sexual • Suporte institucional (ONGs) 	<ul style="list-style-type: none"> • Participação de grupos em desvantagem é difícil de atingir
	Desde meio da década de 80 até à atualidade	<p>Críticas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Abordagens multissetoriais são muito complexas • Os objetivos propostos são muito ambiciosos • Os projetos não têm o efeito desejado quando colocados em prática • A pobreza não pode ser combatida unicamente pela cooperação com as autoridades governamentais <p>Tendências:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Apoio institucional • Alterar condições padrão (ajustes estruturais desde meados dos anos 80) • Trabalho de raiz está à responsabilidade de ONGs 	

O desenvolvimento sustentável tem-se tornado um tema global de extrema importância. Na prática da Engenharia estão implícitas múltiplas facetas rotineiras. Deste modo é indispensável que um engenheiro tenha um vincado sentido de responsabilidade ética, seja qual for a sua função (técnico, membro organizacional, líder, ou empresário).

John Blewitt, diretor do programa de mestrado Desenvolvimento Sustentável na Universidade de Exeter (Reino Unido), lembra que a sustentabilidade só pode ser atingida através de uma aprendizagem social, de um fortalecimento das comunidades, da participação e do compromisso à justiça global (Blewitt, 2008).

Outros autores (Clayton & Patten, 2001) são de opinião que a expressão «desenvolvimento sustentável» constitui um paradoxo. Consideram que não é possível desenvolver toda a população mundial e aguardar que este seja compatível com sustentabilidade ambiental. É um ponto de vista teórico, contudo, não por isso totalmente desprovido de mérito. Insiste-se que habitantes de países com elevados padrões de consumo devem certificar-se que esses mesmos hábitos, que se traduzem pelos seus padrões culturais, podem ou não ser estendidos a toda a população mundial.

2.1.4. Movimento humanitário e holismo em Engenharia

Em 1828, Thomas Tredgold afirmou que «Engenharia é a arte de direcionar as potencialidades da natureza para uso e conveniência do Homem». Segundo Carl Mitcham, Departamento de Filosofia, *Colorado School of Mines*, a prática de Engenharia tem sido influenciada mais por valores externos, do que por valores internos, «A conduta profissional atual da maior parte dos engenheiros enfatiza (...) a saúde e segurança pública e o bem-estar». Mas o que representa afinal a saúde e segurança pública e o bem-estar? Os engenheiros não estudam isso.». Passamos por uma fase em que o destaque está na usabilidade e conveniência do produto, existindo cada vez mais leis e normas que, alegadamente, visam proteger a «saúde e segurança pública e o bem-estar».

É frequente assistir-se ao levantamento de questões éticas e morais depois de um problema estar já estabelecido. Um exemplo atual é o caso da crescente dependência energética da população mundial e da utilização de energia fóssil e as conseqüentes mudanças climáticas associadas à sua extração e uso. Neste assunto, podem-se discutir diversos fatores como os lobbies, interesses políticos e privados ou o aumento de medidas e leis de proteção ambiental. Este é um caso flagrante de um assunto de interesse global no qual a abordagem se caracteriza muitas vezes pela remediação e não pela prevenção de problemas.

Apesar de universalmente se acordar que a atitude correta seria antecipar os possíveis danos de uma ação e procurar não os causar, por meio de soluções alternativas, essa é uma situação que nem sempre se verifica. Neste campo Donna Riley, *Smith College*, afirma que os estudantes de Engenharia devem desprender-se de certezas e verdades absolutas na análise de Engenharia, em detrimento de concentrarem a sua atenção no contexto do projeto. O princípio da ação-reação de Newton aplica-se nesta discussão, na medida em que, o futuro deve compreender uma profunda reflexão crítica sobre a reação, a longo prazo, de um projeto,

sendo que a ignição da ação deve ser a procura de uma solução sustentável que garanta segurança pública, saúde e bem-estar globais.

O movimento humanitário e a Engenharia têm práticas comuns das quais se destacam parcerias com a Cruz-Vermelha, desde o século XVII ou trabalhos desenvolvidos em catástrofes como a Primeira e a Segunda Guerra Mundial onde se destacam trabalhos humanitários de Engenharia no alívio das circunstâncias.

Na atualidade, a criação dos ESF⁶ nos anos 90 reflete a progressão da vertente preventiva deste tipo de Engenharia. Também no contexto académico, diversas universidades disponibilizam aprofundamento de conhecimentos nesta área. De acordo com Carl Mitcham, um dos desafios para a conciliação do movimento humanitário com a prática de Engenharia passa por refletir criticamente acerca do significado de ser engenheiro, e não só na busca de uma solução.

A natureza tem uma forma natural de atingir um equilíbrio predefinido. A humanidade aprendeu desde muito cedo na história a tirar partido de diversas facetas da natureza, intervindo nesse equilíbrio e causando muitas vezes entropia. A sociedade atingiu níveis de demanda elevados, e a exponencialidade desta procura parece ter tendência a aumentar, isto é obviamente, admitindo que os valores que a regem se manterão. Movido essencialmente por padrões consumistas e individualistas, entrou-se num ciclo vicioso de explorar e tentar repor, remediar erros, muitas vezes irreversíveis. Como resposta, a Engenharia Humanitária representa uma vertente que pretende precisamente a recuperação de valores antigos, de proteção do património natural, e de estabelecimento do que realmente é importante para o bem-estar global, em detrimento do individual, da procura de soluções que prometem a estabilidade comum.

As expressões *desenvolvimento internacional* ou *desenvolvimento global* são muitas vezes abordadas de um ponto de vista holístico e num contexto humano de desenvolvimento multidisciplinar. A obtenção de melhor qualidade de vida compreende inúmeros intervenientes e assuntos, tais como: ajuda internacional, governos, sistema de saúde e educação, redução de pobreza, igualdade de sexos, preparação para desastres, infraestruturas, compreensão de fenómenos económicos, direitos humanos, proteção do meio ambiente, entre outros assuntos.

⁶ Engenheiros Sem Fronteiras

O holismo é uma corrente de pensamento caracterizado pela máxima de que um sistema não pode ser resumido à soma das suas partes, mas que pelo contrário a visão do sistema como um todo e a sua interpretação leva à caracterização das suas partes.

A complexidade é um fator especialmente evidente quando as decisões humanas têm um papel ativo num sistema. O estabelecimento de paradigmas de desenvolvimento para o alcance dos Objetivos do Milénio é um assunto de enorme complexidade e a evolução nas estratégias de desenvolvimento é uma prova da dificuldade de ser bem sucedido (Tabela 2). Acentuar a importância da perspectiva holística é buscar soluções para o desenvolvimento, passando pela interpretação do sistema como um todo e compreendendo a interdependência das suas partes. Nos últimos anos, esta tem-se mostrado uma tendência cada vez mais preponderante e aceite como adequada.

2.1.5. Transferência de tecnologias

A ideia de que a cultura afeta o comportamento humano, os seus hábitos e condutas, não é recente. Observações relativamente às aptidões e padrões comportamentais sócio-humanos têm sido feitas desde o início da história da humanidade. Uma forma de se exprimir culturalmente pode ocorrer através da tecnologia, bem como pela discussão das tecnologias apropriadas. O termo *Appropriate Technologies* (AT) foi popularizado por Schumacher (1973) no seu livro «*Small is Beautiful: A Study of Economics As If People Mattered*». Uma tecnologia apropriada é então definida como uma tecnologia facilmente utilizável a partir de recursos prontamente disponíveis pelas comunidades locais para atender às suas próprias necessidades (Buitenhuis, Zelenika, & Pearce, 2010) (Pearce, Grafman, Colledge, & Legg, 2008).

No debate da transferência de tecnologias, particularmente no ponto que se refere a quão apropriada é determinada tecnologia num contexto diferente do seu original, não se pode deixar de referir o papel das culturas intervenientes. Existem poucas dúvidas que a identidade cultural é responsável pelas ferramentas mentais, morais e económicas características de uma sociedade. A visão de que muitas culturas se encontram melhor equipadas para o sucesso do desenvolvimento do capitalismo do que outras é preponderante. São os valores e atitudes, a cultura, o que se destaca, o que prospera nos contextos em que economia e sucesso político estão em jogo (Harrison, 1993). São também estas características que distinguem os grupos étnicos e são estes os fatores responsáveis por fenómenos tais como a persistente instabilidade

e desigualdade Latino-Americana, ou pelos «milagres económicos» de Taiwan ou da Coreia do Sul, ou ainda pelo sucesso Japonês.

Assim, o papel da cultura é crítico na determinação de qual será o destino económico de um estado, povo e/ou indivíduo, uma vez que algumas culturas acedem ao sucesso mais facilmente do que outras. As perspectivas culturais e religiões constituem, na maior parte dos casos, as linhas orientadoras para tomadas de decisão por parte de líderes nacionais e muitas vezes estas decisões refletem atitudes próprias do contexto cultural. Deste modo, um determinado país, região ou povo é definido predominantemente pela sua cultura nos espectros sociais, económicos e políticos, que se refletem na sua estruturação militar e nas instituições. Esta identidade funciona como uma impressão digital, para a restante comunidade mundial.

A identidade cultural pode ainda estar na origem de conflitos entre entidades cujos princípios parecem incompatíveis. Um exemplo de um conflito deste género é a realidade atual respeitante à globalização. O atrito resulta, aparentemente, da procura de um equilíbrio entre a incontornável e cada vez mais intensa globalização e a tentativa de fazer prevalecer uma identidade cultural.

Naturalmente, outro aspecto a considerar na transferência de tecnologias é a envolvimento das autoridades políticas locais. A estratégia para o desenvolvimento que tem vindo a ser fomentada desde a década de 80 prevê uma formulação integrada de parcerias: trabalho comunitário, envolvimento de autoridades locais e integração nos planos de desenvolvimento nacionais e ajuda internacional por meio de ONGs, ou outras instituições.

Na Tabela 2 pode-se verificar que algumas das tendências desde a década de 80 envolvem a realização de todo o planeamento e estruturação por parte de uma entidade exterior (ONG ou instituição), cabendo a esta entidade obter apoios institucionais para o arranque do projeto.

A integração dos projetos nos planos de desenvolvimento nacionais é de extrema importância, essencialmente por dois motivos:

- Garantia que não se trata de uma iniciativa isolada e fora de contexto,
- Inserção do projeto num contexto que lhe proporcionará apoios na manutenção a longo prazo.

Resumidamente, no modelo atual de ajuda internacional acredita-se que a forma sustentável de atuar é com parcerias institucionais nas quais fica à responsabilidade da entidade exterior a execução dos projetos, obtenção de fundos para iniciar os projetos e um planeamento sobre a

transferência de responsabilidades para comunidades e autoridades locais, a longo prazo. Pretende-se deste modo criar independência de ajuda externa.

2.1.6. *Open-source* nas tecnologias apropriadas

Open source appropriate technology (OSAT) refere-se a tecnologias que permitem o desenvolvimento sustentável, sendo a sua distribuição e disponibilização projetadas da mesma forma que o software livre e de código aberto (Buitenhuis, Zelenika, & Pearce, 2010)

A filosofia de tecnologias apropriadas é uma área preparada para a integração no movimento *open source*. Há numerosos grupos, organizações sem fins lucrativos, universidades, empresas e indivíduos que abraçam o paradigma do código aberto quando trabalham neste âmbito (Pearce, Grafman, Colledge, & Legg, 2008).

Grande parte da pobreza generalizada, destruição de património ambiental e perdas de vida humana poderiam ser evitadas pelo uso das tecnologias conhecidas, muitas das quais não se encontram disponíveis para todos. Esta falta de acesso à informação constitui um obstáculo para o desenvolvimento sustentável.

2.1.7. Apropriação das tecnologias

Nas últimas décadas, o debate acerca da apropriação de tecnologias tem sido cada vez mais aceso, talvez precisamente devido à globalização e à consequente exposição a situações inéditas na história humana. Esta discussão tem vindo a ganhar terreno como assunto de relevância tanto para países em desenvolvimento como para países desenvolvidos, pelo reconhecimento que tem vindo a ser dado à importância dos aspetos culturais na transferência de tecnologias. Uma situação frequentemente verificada em diversos países em desenvolvimento é a implementação de modelos tecnológicos que não refletem forçosamente as necessidades que os utilizadores têm. A metodologia do desenvolvimento do produto é uma que procura efetuar a correspondência real entre as necessidades do utilizador e a forma da solução concebida pelo criador da tecnologia.

A metodologia do desenvolvimento do produto trata-se de um procedimento sistemático e iterativo, cuja utilização facilita o alcance da melhor concepção de um produto. Para o efeito, seguem-se tradicionalmente cinco passos: 1) Estabelecimento dos valores e missão do produto (*mission statement*), 2) Determinação das necessidades e especificações do utilizador, 3)

Pesquisa de mercado (*Benchmarking*), 4) Geração do conceito, 5) Implementação do modelo (protótipos, modelo de negócio, custeio...).

Uma importante etapa desta metodologia é a determinação das necessidades e especificações do público-alvo. A averiguação por meio de entrevistas ou inquéritos assegura que o rumo do projeto irá de encontro ao que o público deseja e deste modo o produto não será obsoleto, o produto é concebido para um público que o percebe e o demanda.

Do ponto de vista do desenvolvimento sustentável o uso desta metodologia é uma ferramenta importante, uma vez que ajuda a constitui a ponte entre os projetistas e as comunidades que usufruirão do produto.

2.1.8. Exemplos de tecnologias apropriadas

Lifestraw

Lifestraw® é um filtro de água portátil que ajuda na prevenção de doenças diarreicas. Os filtros de água têm-se mostrado como as intervenções mais eficazes entre todos os pontos de utilização de métodos de tratamento de água para reduzir doenças diarreicas. A investigação da *Cochrane* demonstra que não é suficiente tratar água na fonte, mas também deve ser tratada no ponto de consumo (Vestergaard, 2013).

Também foi inventada uma versão da Lifestraw Family®, com capacidade para filtrar 12 a 15L/h. Esta versão consiste num balde de água com pré-filtro, sistemas de filtragem diversos, mangueiras de plástico.

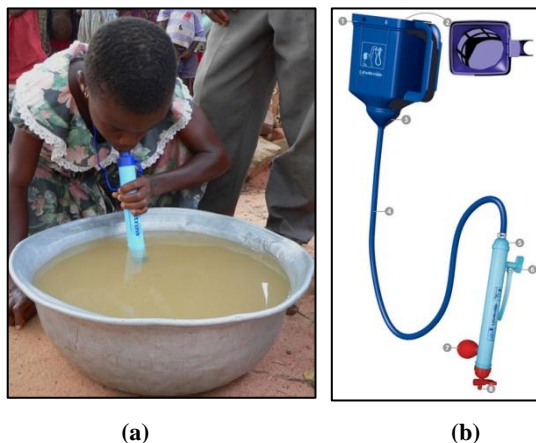


Figura 7 – (a) Lifestraw portátil, (b) LifeStraw Family (Vestergaard, 2013) (Vestergaard, 2013)

O sucesso na implementação desta tecnologia deve-se em grande parte ao modelo económico que possibilitou a sua implementação em grande escala (ver página 24).

Solar light bulb

Nokero, abreviação de "Não Querosene", projeta, fabrica e distribui utensílios seguros, acessíveis e ecologicamente adequados que utilizam tecnologia solar.

Atualmente muitas pessoas recorrem à queima de derivados querosene de forma a obter lanternas improvisadas, o que representa um perigo para a saúde devido à libertação de gases tóxicos ou potenciais queimaduras.

Outra circunstância cada vez mais comum é a expansão do uso do telemóvel mesmo em locais sem acesso a eletricidade. Para os que vivem em áreas rurais de países em desenvolvimento, a realidade pode traduzir-se em viajar quilómetros para carregar os aparelhos. Na Figura 8 mostram-se a lâmpada e o carregador solar.



Figura 8 - Em cima à esquerda: Utilização de lâmpadas solares no Haiti depois da catástrofe natural; à direita: a lâmpada solar; à esquerda em baixo: carregadores de telemóveis solares (NOKERO, 2011)

Amy Smith

No contexto rural, a queima de madeira é ainda muito comum para diversos fins, nomeadamente para cozinhar, em muitos locais é também hábito fazê-lo num ambiente fechado. Estes costumes trazem efeitos ambientais indesejados, mas são também uma causa considerável de problemas de saúde para quem respira os fumos.

Assim sendo, Amy Smith em conjunto com o D-Lab, procurou uma solução para este problema, um combustível cuja queima seja mais limpa, reduzindo riscos de saúde para quem

os inala. As vantagens deste projeto eram a facilidade no uso da tecnologia, o baixo custo e disponibilidade de matérias-primas no local.

São necessários três ingredientes para fabricar o *charcoal*, carvão vegetal, uma substância que contenha carbono, uma fonte de calor e um recipiente. Na primeira tentativa do D-Lab foi utilizado o bagaço de cana de açúcar, um subproduto da exploração da cana-de-açúcar, que era considerado um detrito, como substância para queimar e uma lata de metal. De uma forma sucinta o processo consiste em colocar num recipiente resistente ao fogo o bagaço, iniciar a queima e tapar o recipiente passados alguns minutos, de forma a cortar a fonte de oxigênio e promover a carbonização.



Figura 9 - Processo de fabrico do charcoal (Adaptado de *How to make charcoal briquettes*, (Smith, 2009))

Desde que foi inventado, o processo foi sendo melhorado, quer pela adição de pastas naturais, derivadas de *cassava*, uma semente presente praticamente em todo o mundo, quer pela utilização de pequenas prensas manuais para fazer *briquetes*.

Os benefícios tanto para a saúde como para o meio ambiente têm vindo a ser estudados e as conclusões permitem dizer que se trata de uma forte alternativa aos métodos tradicionais.

Waste For Life

Waste for life é uma rede de cientistas, engenheiros, educadores, arquitetos, artistas, designers e cooperativas de trabalho com o objetivo de desenvolver soluções para problemas ambientais específicos e redução da pobreza. Utilizam o conhecimento científico e tecnologias adequadas para acrescentar valor aos recursos que são comumente considerados prejudiciais ou sem valor, mas são muitas vezes a fonte de subsistência para os membros mais pobres da sociedade. A *waste for life* tem projetos na Argentina e no Lesotho desde 2006.

O projeto que decorre no Lesotho iniciou-se após a observação da exploração da *Agave Americana*. A Maseru Aloe Multi-Purpose Cooperative Union (MA), uma cooperativa constituída por mais de 23 associações-membro e mais de 200 trabalhadores trabalha com a *Agave Americana*. A produção desta cooperativa gera resíduos sólidos e líquidos, entre os quais fibras de *Agave*. A ideia reside na utilização dos resíduos, neste caso as fibras, para a criação de um compósito de fibras naturais e a sua utilização na construção de telhas ou outros utensílios domésticos. Uma vantagem do compósito em relação às tradicionais folhas secas está relacionada com uma durabilidade superior.

A criação de grandes quantidades de lixo e da falta de locais adequados para a sua disposição é um problema comum que se consegue combater com alternativas como as apresentadas pela *Waste For Life*, facilmente reproduzíveis noutros lugares, e com grande potencial especialmente para a África. Trata-se de uma abordagem sustentável que permite novas condições para o combate à pobreza.

2.1.9. Conceção para o mercado

O desenvolvimento de tecnologias apropriadas, por si só, frequentemente não constitui o único passo para a resolução de um problema de forma sustentável. Um dos tópicos que se pretende garantir é a auto-suficiência, a certeza de que após implementada, uma solução é capaz de gerar mecanismos autónomos de desenvolvimento económico. Muitas vezes o grande entrave ao sucesso de um projeto de desenvolvimento sustentável está relacionado com o seu financiamento, com o seu modelo de negócio.

Existem diversos problemas que são comuns a muitos locais no mundo e para os quais a aplicação de uma mesma solução seria aplicável, sendo que o principal objetivo de um modelo de negócio sustentável deve ser o de alcançar o máximo de clientes possíveis.

Apresentam-se seguidamente três modelos de negócio que proporcionaram a implementação de soluções sustentáveis em grande escala e melhoraram a vida de milhares de pessoas, tanto no espectro da segurança alimentar, como a nível da redução da pobreza pela integração de pequenas empresas e fomentação ao empreendedorismo.

Carbon for water - O sucesso da implementação da Lifestraw

A *Vestergaard Frandsen*, a empresa suíça que inventou a *Lifestraw*, observou que a utilização de queima de madeira para ferver água contaminada é uma prática comum em zonas rurais de países em desenvolvimento. A introdução de filtros para obtenção de água purificada aniquila a necessidade de ferver água contaminada e por isso reduz as emissões de carbono, ao mesmo tempo que previne desflorestação.

Esta dedução permitiu à empresa europeia *Vestergaard Frandsen* criar um programa financeiro sustentável para a distribuição de filtros de água gratuitamente no Quênia.

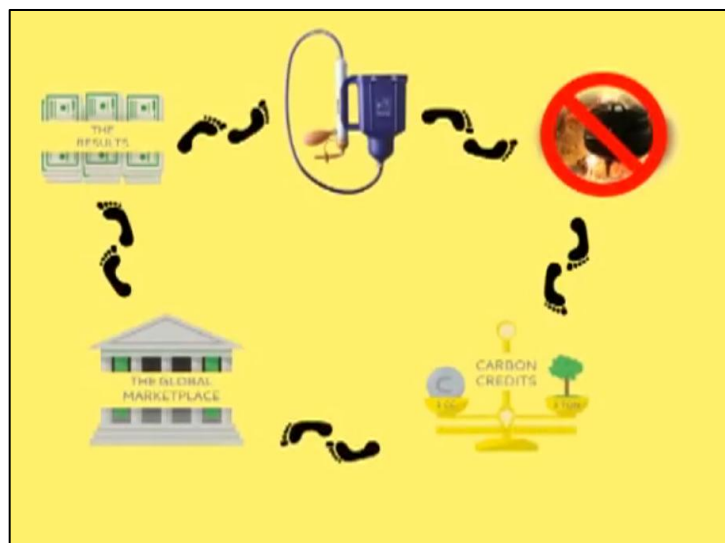


Figura 10 - Ciclo para sustentabilidade financeira do projeto lifestraw (Foto: *Carbon For Life*)

A ideia de *Carbon For Water* é inovadora e simples: toda a água recolhida é filtrada e corresponde a uma redução nas emissões de CO₂. Por cada tonelada de CO₂ que se reduz, um crédito é ganho. Nos primeiros 6 meses, 1.4 milhões de créditos foram ganhos por reduções voluntárias. Estes créditos foram posteriormente vendidos no mercado global a empresas que querem compensar pelas suas emissões de carbono. O dinheiro que resulta da venda dos créditos é investido novamente no programa de água permitindo um ciclo financeiro sustentável (Figura 10).

Treadle Pumps – o sucesso da implementação de bombas de pedais no Bangladesh

Na década de 80 a insegurança alimentar e a pobreza eram constantes no Bangladesh. Paul Polak, fundador da iDE, criou um modelo que permitiu alcançar milhares de pessoas cujas necessidades eram semelhantes.

Para solucionar o problema de obtenção de água, Polak e a equipa escolheram a bomba de pedais (página 33), cujo custo de implementação era de 25 dólares. Contudo, a solução encontrada resolvia apenas uma parte do problema, e tão maior seria a sustentabilidade alcançada, quão maior fosse o número de indivíduos com acesso à tecnologia, dado que o problema era comum a milhares de pessoas. Perceberam que era crucial a concepção de um modelo que fosse desenhado não só para o cliente, mas para um mercado. Neste caso e na época em questão, muitos dos potenciais utilizadores da bomba não sabiam ler nem escrever, não existia uma rede de comunicações que permitisse dar conhecimento sobre esta alternativa, a dispersão geográfica era também uma dificuldade e finalmente o baixo rendimento das famílias constituía entraves à implementação sustentável do negócio.

Para resolver o problema de distribuição foram recrutadas 75 pequenas empresas que construíram as bombas, 3000 vendedores que as vendiam com uma margem de lucro de 12% e foram treinadas 3000 pessoas para a escavação de poços, num curso de três dias com direito a atribuição de certificado e aos quais ficou encarregue a instalação das bombas. Esta medida contribuiu para a criação da infraestrutura de mercado para as bombas de pedais, mas não era suficiente. O próximo passo seria a criação de procura no mercado de modo que as pequenas empresas pudessem continuar a funcionar, vender e obter receita suficiente que garantisse condições de vida aos envolvidos. Para uma população iletrada e dificilmente alcançável por meio dos *media*, brochuras ou campanhas de rádio não eram a solução.

Para responder a este problema, Polak recrutou grupos de teatro e outros artistas populares para escrever músicas sobre as bombas, para atuarem nas aldeias e mercados e em grandes celebrações, incorporando demonstrações do funcionamento da bomba nas suas performances. Finalmente foi realizado um filme de 90 minutos, estilo *Bollywood*, projetado para milhões de pessoas todos os anos em sessões ao ar livre, abertas ao público. Este filme foi, em muitos casos, o primeiro filme que muitas pessoas viram na sua vida.

Polak afirma que, sem projetar as redes de fabrico, distribuição e instalação envolvendo milhares de pequenos empreendedores, o sucesso nunca teria sido alcançado e nunca se teriam vendido milhares de bombas de pedais no Bangladesh. O desenho de um plano de

distribuição para massas e a estratégia de marketing resultou em algo mais importante para a sustentabilidade da solução, do que o projeto da bomba em si. O projeto de uma tecnologia apropriada, económica e transformativa era necessário, mas estava longe de ser condição suficiente para o sucesso.

PlayPump® water system

A PlayPump® é uma bomba de extração de água que utiliza a energia induzida pelo movimento de uma espécie de carrossel para a extração de água (mais detalhes na página 33).

A *Roundabout Outdoor* foi a empresa que inventou este modelo alcançando cerca de dez milhões de pessoas na África Subsariana. Para colocar em prática esta tecnologia, e capilarizar a sua utilização em condições semelhantes, foi concebido um modelo de negócio baseado na publicidade. A ideia é simples: utilizar a superfície do tanque de armazenamento de água para publicidade (Figura 11). Qualquer entidade pode alugar o espaço e os fundos obtidos são investidos no programa, pagando deste modo as despesas associadas ao projeto.



Figura 11 - Reservatório PlayPump® com publicidade

Os equipamentos são produzidos na África do Sul e são instalados por equipas locais que recebem formação e um emprego assegurado por 10 anos. As equipas efetuam manutenção do equipamento e trocam a publicidade nos *outdoors*.

2.2. Tecnologias apropriadas de aprovisionamento e distribuição de água

2.2.1. Recolha e armazenamento de água

A questão da falta de água é um problema que afeta diversos países em desenvolvimento, particularmente os situados em regiões semiáridas e sub-húmidas, como é o caso da comunidade de Malonguete. Existem diversas abordagens a estes problemas que estão relacionadas maioritariamente com a origem da água, seja a recolha de água da chuva ou do subsolo, e o tipo de armazenamento que se aplica. Nesta seção pretende-se efetuar uma introdução a estes conceitos.

Recolha de águas pluviais

Recolha de águas pluviais é uma prática comum para mitigar os riscos dos períodos de seca. Refere-se a todas as tecnologias onde água da chuva é recolhida para posterior utilização para agricultura ou uso doméstico.

Um sistema de recolha de águas pluviais geralmente tem três componentes: 1) área de captação/recolha, que produz o escoamento, uma vez que a superfície é impermeável ou infiltração é baixa, (2) um sistema de transporte por meio do qual o escoamento é dirigido, por exemplo, por diques, valas, canais (embora nem sempre necessário), (3) um sistema de armazenamento (área alvo), onde a água é acumulada ou mantida para uso - no solo, em poços, lagoas, tanques ou barragens.

Este método é aplicável em locais semiáridos com períodos de seca regulares. É maioritariamente utilizado para rega suplementar de cereais, vegetais e árvores, mas também para fornecer água para uso doméstico e, por vezes, para criação de peixes ou bebedouro de animais.

A aplicação deste método deve prever a rentabilidade para o utilizador, as técnicas devem ser simples, baratas e de fácil gestão. Assim, quanto maior for a necessidade de manutenção, menor o sucesso dos utilizadores.

Barragens subterrâneas

Quando recursos como águas pluviais, ou de outra origem superficial, estão totalmente aproveitados ou são inexistentes, a utilização de águas subterrâneas é a única opção restante. A sustentabilidade da utilização deste recurso pode ser definida como o desenvolvimento e uso de águas subterrâneas de forma que possam ser mantidas por tempo indefinido, sem causar efeitos inaceitáveis do ponto de vista económico, ambiental e social (Alley, Reily, & Franke, 1999).

Uma barragem subterrânea é uma infraestrutura que interrompe o escoamento natural de águas subterrâneas e armazena água abaixo do nível da superfície, existindo diversas variações na sua construção. Contudo o princípio é simples: uma vala é cavada na direção transversal ao leito do rio até atingir solo impermeável ou rochoso a partir do qual se constrói uma parede impermeável. Um reservatório criado desta forma mantém água durante a época das chuvas possibilitando o seu uso durante a época seca. Diversos materiais já foram utilizados na construção deste tipo de barreira tais como, argilas, betão, betão reforçado, tijolos ou plástico (Nilsson, 1988). Normalmente, a média de alturas destas barragens encontra-se entre 2 a 6 metros existindo, contudo, barragens com profundidades de 10 metros ou mais. A água é extraída por meio de um poço ou por tubagens com auxílio de gravidade, caso as condições topográficas sejam favoráveis.

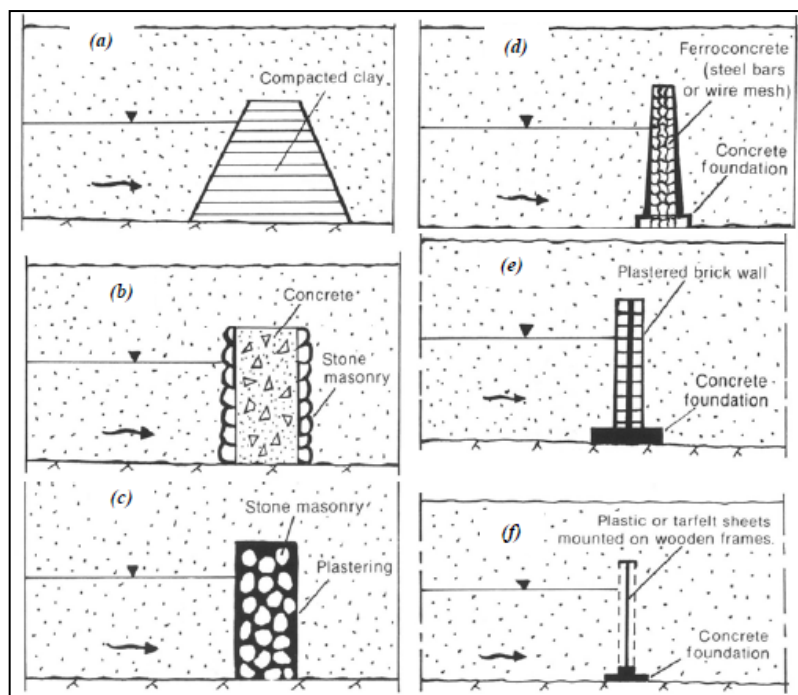


Figura 12 - Tipos de construções de barragens subterrâneas a) Parede compactada de argila b) Parede de betão, c) Alvenaria de pedra, d) Betão reforçado, e) Parede de tijolo plastificada, f) Parede de madeira coberta por filme de plástico (Nilsson, 1988)

Pequenas barragens de terra

Na maior parte das comunidades rurais os benefícios financeiros derivados do cultivo da terra são raramente suficientes para permitir a construção de estruturas de betão, caras e tecnologicamente avançadas para o armazenamento de águas. O uso de pequenas barragens de terra tem-se mostrado como uma forma de mitigar problemas de segurança alimentar na medida em que melhora a prática de agricultura.

Pequenas barragens de terra são estruturas de recolha de água, construídas entre secções estreitas de vales, para confinamento de um escoamento gerado a montante. Existem diversos tipos de barragens de terra, variando a escolha com um conjunto de fatores, tais como o local de construção e solos disponíveis. De uma forma geral, a construção da parede da barragem começa com a escavação de uma vala central ao longo do comprimento da parede da barragem, que é preenchido com a argila e compactado de modo a formar um núcleo central que prende a parede e evita ou minimiza a percolação. Os taludes a montante e a jusante são construídos utilizando solo com teor de argila de 20-30% (Petersen, 2006).

O documento *Manual sobre pequenas barragens* de Tim Stephen, publicado pela FAO, (Stephens, 2011), é um guia sobre a localização, projeto e construção de pequenas barragens. De uma forma global, importa dizer que a garantia de qualidade neste tipo de construção é de extrema importância. Trata-se de uma solução implementada em diversos países em desenvolvimento, sendo que o principal constrangimento está relacionado com a elevada mão de obra necessária para a construção e a necessidade de supervisão técnica (Liniger, Mekdaschi Studer, Hauert, & Gurtner, 2011).

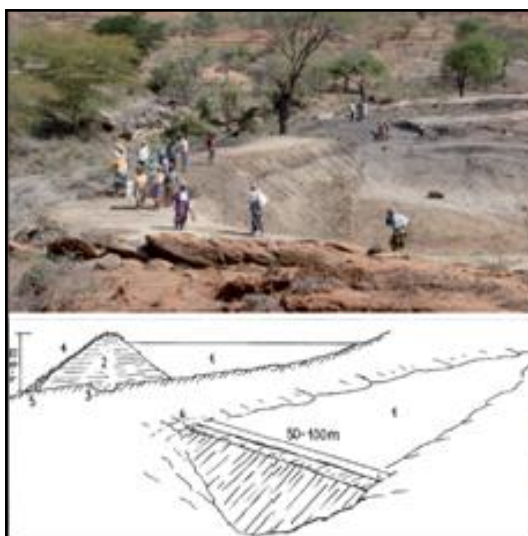


Figura 13 – Em cima: Construção manual de uma pequena barragem de terra requer participação comunitária, Em baixo: Dimensões e principais componentes de uma pequena barragem (1) Albufeira, (2) Parede da barragem com diversas camadas compactadas, (3) Núcleo central, (4) Cobertura com plantas apropriadas, (5) Dreno; (Fotos por Matt Gurtner)

Reservatórios

Os reservatórios são a alternativa mais simples para o armazenamento de água. Tanto podem estar associados à utilização de águas subterrâneas, como à captação de águas pluviais, onde a água é direcionada, por exemplo, por telhados e posteriormente por canalização. A utilização posterior da água pode ser efetuada por bombeamento ou por gravidade, sendo que o uso de filtros depende da finalidade da água. Existem diversas variedades de materiais para construção de reservatórios como o betão, tijolo, plástico ou materiais compósitos.



Figura 14 - Reservatório de juta e resina melaminica (FAO, 2013)

2.2.2. Extração de água

Bomba de corda (Rope pump)

A bomba de corda, *rope pump*, é talvez um dos métodos mais comumente utilizados entre comunidades rurais por ONGs devido à sua facilidade de implementação, manutenção e na adaptabilidade aos recursos existentes. A expansão do uso deste método deu-se após aperfeiçoamentos na década de 90 em Nicarágua, América Central (Erpf, 2005). A bomba de corda é uma opção eficiente e de baixo custo para a irrigação em pequena escala. A quantidade de água que é possível obter depende da profundidade do poço.

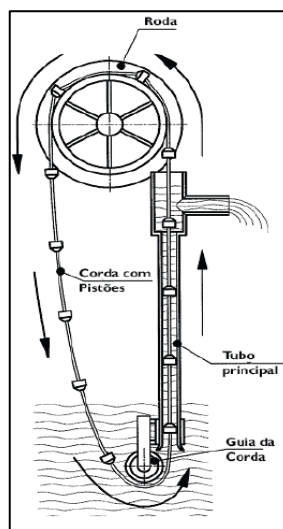


Figura 15 - Principais componentes da bomba de corda (RWSN, 2013)

À superfície, a corda funciona sobre uma roda que quando acionada, movimentada a corda, que possui pistões presos a uma distância fixa entre eles. A corda desliza no interior de um tubo com uma extremidade ao alcance da água do poço e a outra extremidade à superfície. Quando a corda é puxada para cima através do tubo, a água é empurrada à frente dos pistões e saindo pela extremidade livre do tubo. No fundo do poço há um guia de corda construído de forma a que a corda deslize facilmente dentro do tubo assim que é puxada. A bomba de corda pode ser usada até aproximadamente 30 metros. Quanto mais profunda a água é, menor deve ser o diâmetro do tubo e menos água é extraída. Ao aumentar a altura de bombeamento, aumenta-se o peso da coluna de água, tornando o bombeamento mais intenso.

Algumas das diferentes formas de acionar bomba de corda encontram-se reunidas na Figura 16.

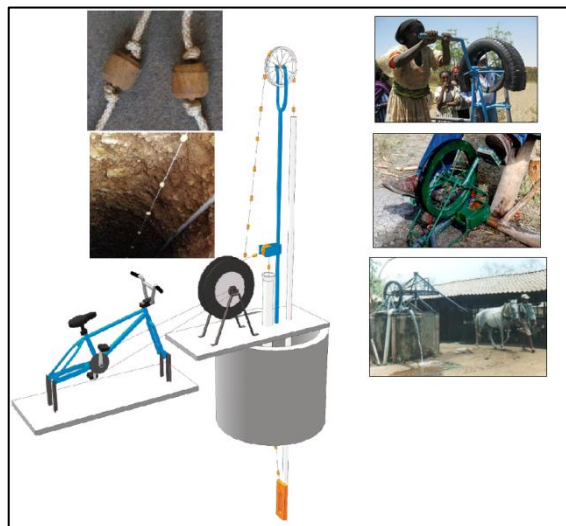


Figura 16 - Variações no tipo de acionamento das bombas de corda, manual, pedal, tração animal ou bicicleta (RopePumpOrg, 2013), (MayaPedal, 2013)

Hand pump - PlayPump® water system

Através do movimento induzido pelas crianças a água é bombeada do subsolo para um tanque, sendo possível obter água posteriormente. O excesso de água é desviado a partir do tanque de armazenamento de volta para dentro do orifício, ilustrado na Figura 17 pelo número 6.

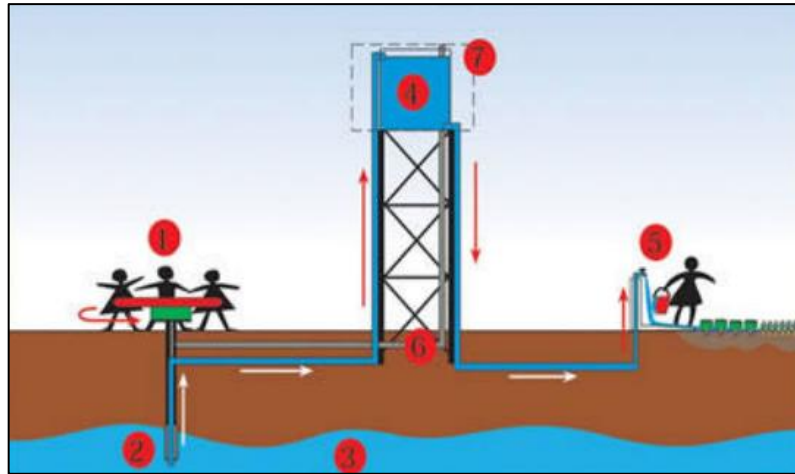


Figura 17 - Esquema de funcionamento da PlayPump® (UNICEF, 2007)

A PlayPump® encontra-se instalada perto de escolas ou em centro comunitários estando geralmente ao dispor de uma média de 2500 pessoas. Segundo a *Roundabout Outdoor* este sistema é capaz de produzir até 1400 litros de água por hora a 16 RPM. Pode atingir profundidades de serviço até 100 metros.

Críticas e benefícios

A PlayPump® foi destacada em 2000 pelo *World Bank* como uma invenção que melhora o acesso à água em comunidades rurais, de uma forma inovadora e adequada, e também pelo carácter preventivo de mensagens nos cartazes nas torres de água.

A implementação deste sistema permite que as crianças passem mais tempo na escola e que as mulheres que anteriormente tinham que transportar grandes recipientes de água a grandes distâncias possam passar mais tempo envolvidas noutras atividades.

Destaca-se como principal crítica a falha no não envolvimento da comunidade. Após consultadas sobre este sistema, algumas mulheres em Moçambique relatam ser difícil acionar o mecanismo especialmente se não existirem crianças por perto, outra situação está relacionada com a vergonha de movimentar a bomba, uma vez que o conceito não está estabelecido na comunidade e muitas pessoas não sabem para que serve o aparelho. Existem também relatos de crianças que ficaram feridas durante o bombeamento de água (UNICEF, 2007).

Para descrição mais detalhada sobre as falhas e benefícios do sistema pode-se consultar o relatório da UNICEF, *An Evaluation of the PlayPump® Water System as an Appropriate Technology for Water, Sanitation and Hygiene Programmes*, de 2007 (UNICEF, 2007).

Rower pump

É uma bomba para a irrigação de pequena escala e de uso limitado para obtenção de água potável.

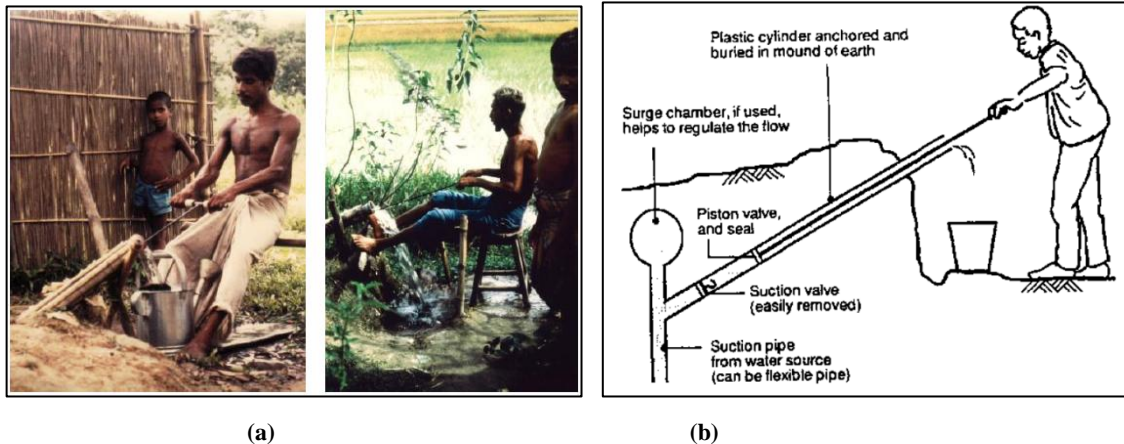


Figura 18 – (a) Bomba rower (Baumann, 2011), (b) Componentes e funcionamento de uma bomba Rower (EWB, 2009)

A bomba *rower* foi desenvolvida como uma bomba de sucção de operação manual para a irrigação de pequena escala. Uma vantagem desta bomba está relacionada com a baixa quantidade de peças móveis sendo, portanto, o desgaste reduzido e tornando a manutenção mais simples. A bomba tem uma utilização limitada para a água potável, devido à profundidade de serviço do equipamento (até cerca de 8 metros) (Baumann, 2011).

Bomba de pedal (Treadle pump)

A bomba de pedais é utilizada para irrigação de pequena escala e o seu uso é limitado para obtenção de água potável. Uma bomba de pedal compreende um cilindro equipado com um êmbolo e um meio de empurrar o pistão para cima e para baixo. Um tubo liga a bomba a uma fonte de água. No fim do tubo há uma válvula de retenção que permite que a água entre no tubo e não possa regressar à fonte. A folga entre êmbolo e cilindro é mínima, de modo que quando o pistão é levantado, cria-se vácuo no interior do cilindro e água é aspirada. Quando o êmbolo é empurrado para baixo, a água é empurrada através de uma pequena válvula no êmbolo para encher o espaço acima dele. Quando o pistão é levantado outra vez, levanta esta água até que é extraída pela extremidade livre do tubo. Ao mesmo tempo, mais água é retirada para dentro do espaço por baixo do êmbolo e o processo repete-se (Kay & Brabben, 2000).

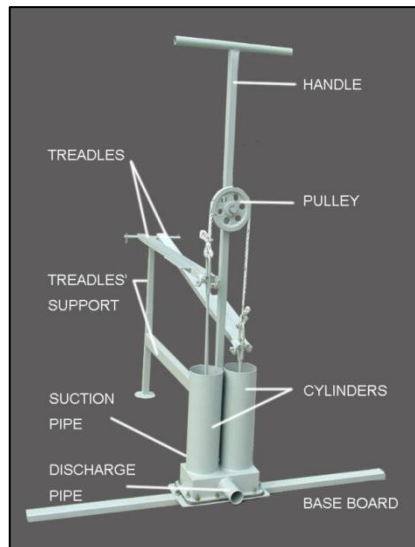


Figura 19 - Componentes de uma bomba de pedal (Kay & Brabben, 2000)

O uso deste equipamento permite uma profundidade máxima de extração de água de 6 metros. A manutenção e instalação são facilmente compreensíveis, sendo por esse motivo considerada uma solução sustentável.

2.2.3. Irrigação de pequena escala

O maior objetivo de um sistema de regadio para as circunstâncias apresentadas é a eficiência do uso da água. *Small Irrigation Management units* (SIM) são unidades que tipicamente não cobrem áreas superiores a meio hectare e cujos alicerces são o uso eficiente de fontes de água (rios, águas pluviais ou outros). A distribuição pode efetuar-se de forma tradicional, à superfície, ou com recurso a sistemas de micro-irrigação, como por exemplo, o sistema gota-a-gota.

Num sistema SIM, a água é aplicada em quantidades apropriadas em ocasiões e locais estratégicos, baseada nas necessidades de cada planta.

Sistemas de irrigação por aspersão

Apesar de geralmente serem associados a sistemas dispendiosos, existem alternativas construtivas de baixo custo para os sistemas de aspersão, adequadas a locais onde o acesso à água é sazonal, ou de algum modo escasso, e são sistemas que permitem a utilização deste bem de forma eficiente.

Sistemas de irrigação por aspersão adaptados para pequenos agricultores, podem ser colocados em funcionamento através de bombas elétricas ou bombas acionadas por combustível.

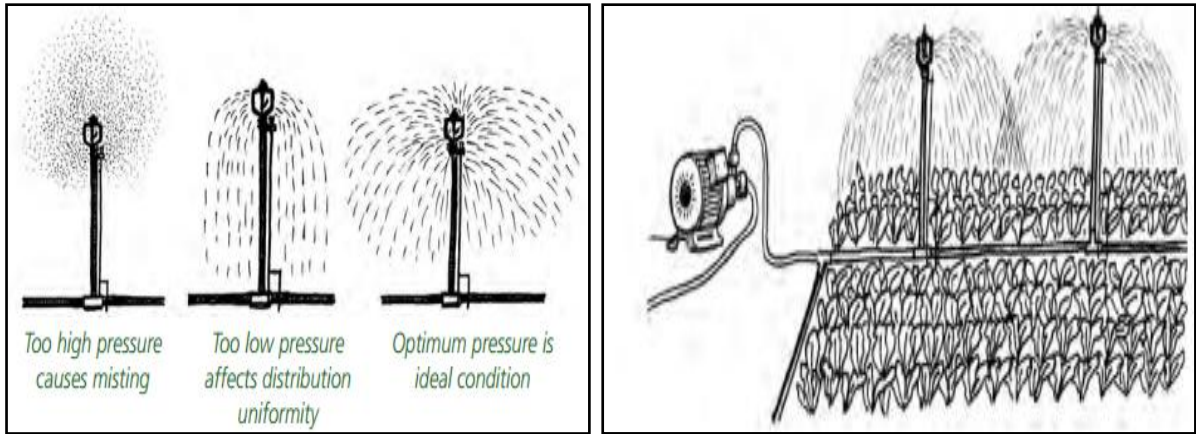


Figura 20 – Em cima à esquerda: Influência de diferentes pressões nos sistemas de irrigação por aspersão, Em cima à direita: Utilização de bomba para pressurizar a água no sistema

Os sistemas de irrigação por aspersão têm alguns aspectos cruciais a controlar para que a sua utilização se verifique rentável: 1) atenção à influência do vento na água, 2) atenção aos períodos de irrigação, 3) verticalidade das cabeças de aspersão e 4) tempo de irrigação.

Sistemas de irrigação por gotejamento

O princípio de funcionamento deste tipo de sistema consiste numa rede de tubagens nas quais estão aplicados gotejadores ou emissores. Estes dispositivos permitem que o solo seja irrigado diretamente no local da raiz da planta, em quantidades previamente estabelecidas, evitando-se deste modo desperdícios. O custo deste tipo de sistemas varia de acordo com os materiais e acessórios utilizados e com o grau de automatização do processo de rega.

A irrigação por gotejamento tem como características principais, a utilização de pequenos caudais a baixas pressões, não se molhar o solo na totalidade e a água ser aplicada com alta-frequência (Yague, 1996). A Tabela 3 reúne as principais vantagens e desvantagens de sistemas gota-a-gota.

Tabela 3 - Vantagens e desvantagens de sistemas de irrigação por gotejamento

Vantagens	Desvantagens
<p>Método mais eficiente na economia da água:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Áreas molhadas mínimas (menos evaporação) • Menos erosão de solos devido à reduzida área irrigada • Distribuição uniforme da água • Não influenciado pelo vento 	<p>Filtração é um componente crítico</p> <ul style="list-style-type: none"> • Entupimento dos emissores pode impedir a uniformidade da distribuição • Crescimento de fungos/algas deve ser controlado
Adaptável a vários tamanhos e formatos de campos	Componentes podem ser destruídos por roedores ou outras entidades
Crescimento de ervas daninhas é reduzido	<p>Custos iniciais elevados</p> <ul style="list-style-type: none"> • Necessidade de ter água disponível com regularidade • Potencial de criação de salinidade dos solos áridos <ul style="list-style-type: none"> ○ Pode necessitar de lavagem periódica dos solos
Elevada eficiência no uso de fertilizantes	
<ul style="list-style-type: none"> • Fertilizante injetado diretamente na raiz, a qualquer instante sem molhar as folhagens 	
Associado a produções mais elevadas	
Humidade e fertilidade na zona da raiz podem ser mantidas a níveis ótimos	

Emissores

Existem essencialmente dois tipos de emissores: on-line, acoplados à tubagem, e in-line, inseridos na tubagem (Figura 21). Os gotejadores podem ainda ser autocompensantes ou não autocompensantes. A diferença reside na capacidade de regular o caudal mediante variações da pressão.



Figura 21 – Tipos de gotejadores, à esquerda gotejador on-line, à direita gotejador in-line

Aplicações de sistemas de rega gota-a-gota de baixo custo

African Market Garden (AMG)

O AMG é uma iniciativa da ICRISAT⁷ em parceria com outras organizações. O projeto associa a aplicação de um sistema de irrigação gota-a-gota por gravidade e conhecimentos de agricultura, especializados para climas semiáridos, isto é, estuda espécies de plantas capazes de sobreviver às condições do projeto. Em colaboração com AVRDC⁸ estudam-se continuamente vegetais tolerantes ao calor, de modo a otimizar o desempenho do AMG. Até ao momento de escrita, dez variedades de vegetais foram selecionadas e testadas com sucesso.

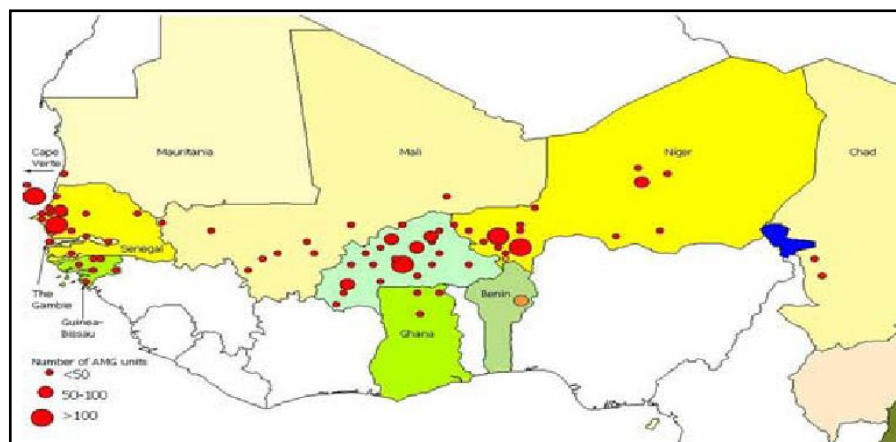


Figura 22 - Implementação de sistemas de irrigação AMG na África Ocidental (Fonte: ICRISAT)

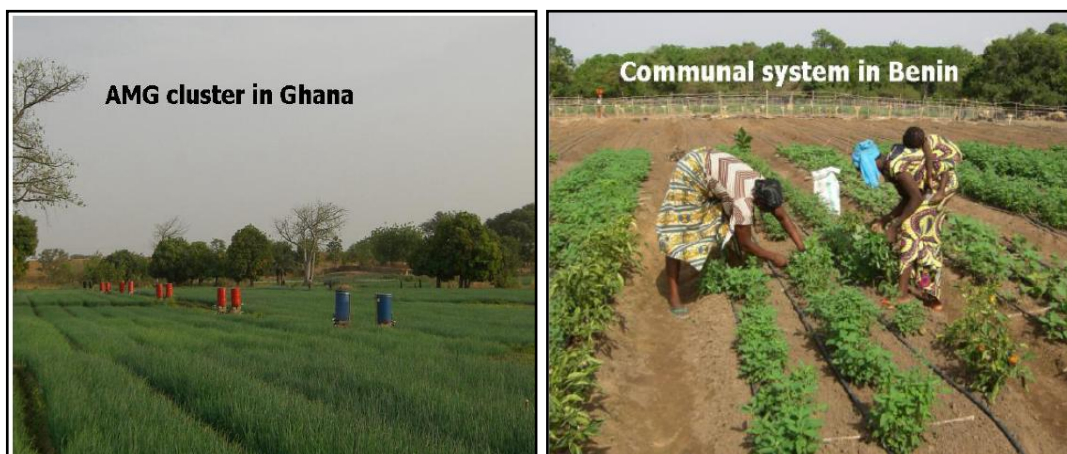


Figura 23 - Sistemas AMG na República do Gana e na República do Benin (Fonte: ICRISAT)

⁷ International Crops Research Institute for Semi-Arid Tropics

⁸ The World Vegetable Centre



Figura 24 – Esquerda: Correta implementação de aproveitamento de águas da chuva e fertilização dos solos resulta na produção de melancias em solos arenosos, Direita: Formação da comunidade para a produção de mangas (Fonte: ICRISAT)

De acordo com a experiência da ICRISAT este tipo de abordagem é melhor sucedida quando aplicada em sistemas comunitários/cooperativas do que por particulares uma vez que tem um custo inicial elevado (ICRISAT, 2013).

Krishak Bandhu Drip (KB-Drip)

O sistema *Krishak Bandhu Drip* foi desenvolvido pela iDE e tem sido implementado em vários locais do mundo tais como a Índia, Zimbábue e Nicarágua. O sistema possibilita reduções de água necessária na ordem dos 30 até 70%, reduz grandemente a quantidade de trabalho necessário, emprega os fertilizantes com elevada precisão e torna possível o cultivo durante a época seca tendo-se verificado aumentos de produção na ordem dos 30%.

A iDE desenvolveu vários módulos de irrigação adequados às diferentes necessidades dos utilizadores, desde o pequeno agricultor com a horta familiar (20m²), até às maiores produções adequadas, por exemplo, a integração em cooperativas (Figura 25).

A Figura 25 mostra os componentes de um sistema para uma área de 100 m² cujo preço pode variar de 45 a 52 dólares, dependendo das quantidades encomendadas e não incluindo os gastos no transporte.

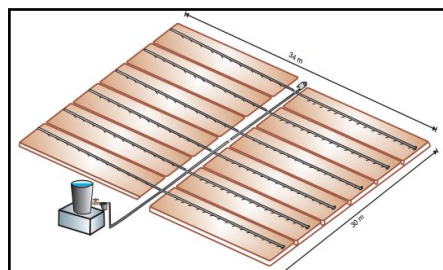


Figura 25 – Sistema de irrigação de baixo custo da IDE (100m²)

2.3. Utilização de materiais de origem vegetal em materiais compósitos

Durante milhares de anos a civilização utilizou materiais localmente disponíveis tais como pedra, argila, barro, madeira, fibras e osso para diversas finalidades, entre as quais a construção de materiais compósitos. Com o desenvolvimento de resinas sintéticas e plásticos no final do século XIX e início do século XX, a habilidade no uso desses recursos naturais foi diminuindo gradualmente. Atualmente, movida maioritariamente por motivos ambientais, a investigação na área de materiais compósitos naturais, ou compósitos «verdes», ocupa novamente lugar de relevo.

O problema que se vem relatando neste trabalho compreende várias componentes, sendo que uma delas se relaciona com a falta de estruturas para armazenamento e distribuição de água. Neste ponto, os materiais compósitos têm um potencial muito elevado, sendo que neles pode residir uma solução prática, económica e adequada. Por outras palavras, ambiciona-se estudar a combinação dos materiais naturais disponíveis localmente para a criação de um material compósito de baixo custo.

Materiais compósitos definem-se como materiais constituídos por dois ou mais materiais e cujas propriedades mecânicas são superiores às de cada componente isoladamente (Marques, 2011). Um compósito compreende essencialmente duas partes: a matriz e o reforço. Alguns materiais localmente disponíveis para a formação de um compósito são os polímeros, como matriz, e fibras naturais e particulados (areias) como reforço.

No caso das fibras, o reforço é efetuado por arranjos de fibras de um material resistente, por norma, colocados numa matriz cuja resistência mecânica, apesar de ser muito inferior à do reforço, é capaz de deter a propagação de fissuras. Estes materiais têm sido alvo de estudo devido às vantagens que representam em termos de propriedades mecânicas, quando comparados com outros materiais de construção mecânica tradicionais (materiais metálicos).

De uma forma geral, materiais compósitos reforçados com fibras são competitivos em termos de propriedades físicas e mecânicas e, sendo bem planeados mediante a aplicação que se pretende, podem representar soluções duráveis. Os fatores determinantes no comportamento e durabilidade de um material compósito resumem-se a 1) as fibras de reforço: tipo, geometria, orientação, quantidade e distribuição, 2) a matriz, 3) a adesão na interface fibra/matriz e 4) as técnicas de fabrico (bem controladas para minimizar defeitos).

Porquê utilizar fibras como reforço num material compósito?

Utilizam-se reforços de fibras num compósito maioritariamente pelo contributo positivo que estas fornecem ao suportarem a maior parte das cargas aplicadas no componente que constituem. As fibras são mais resistentes e rígidas e, por esse motivo, espera-se que a resistência mecânica e rigidez do compósito sejam melhoradas pela sua introdução.

As propriedades finais do material reforçado são influenciadas não só pelas propriedades físicas e mecânicas da fibra, mas também pelo comprimento, quantidade e orientação das mesmas.

Fatores influentes nas propriedades mecânicas do compósito

Matriz

Num compósito a matriz tem essencialmente três funções principais: 1) promover a ligação com o reforço, as fibras, com o alinhamento desejado, de maneira a transferir tensões para as fibras, idealmente apenas uma parte dos esforços é suportado pela matriz, 2) proteger as fibras de ataques superficiais, tais como ataques químicos ou abrasão mecânica e 3) interromper a propagação de fissuras ao garantir a separação das fibras individuais.

Tipologia da fibra de reforço

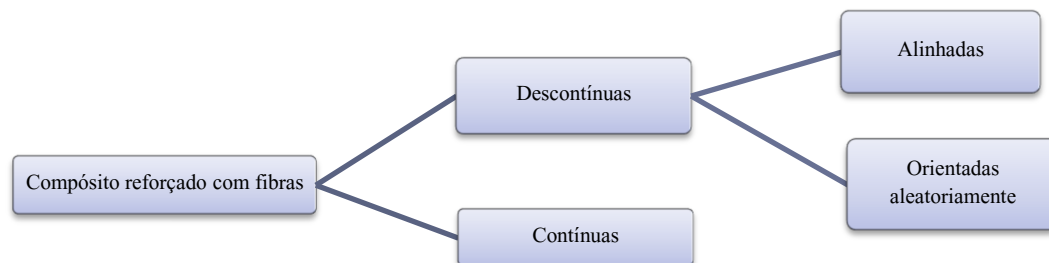


Figura 26 – Tipos de compósitos reforçados com fibras

O aumento da resistência mecânica dos materiais reforçados com fibra deve-se à eficaz transferência de cargas da matriz para a fibra influenciada, entre outros, pelo tamanho da fibra. O comprimento das fibras e a adesão na interface fibra/matriz, quantificada pela tensão de corte, são fatores determinantes para a transferência de carga (Romão, 2007)

Se o comprimento da fibra empregue como reforço for inferior ao comprimento mínimo, designado por comprimento crítico l_c , a fibra irá ser «puxada» da matriz e o compósito falhará a baixas tensões. Quando o comprimento das fibras é maior do que o comprimento crítico, a

transferência de tensões torna-se eficiente e haverá rompimento das fibras e não da matriz, de modo que compósitos de elevada resistência mecânica são obtidos.

Estas constatações confirmam que, quando se utilizam fibras muito curtas, não ocorre transferência significativa de carga para as fibras, sendo a matriz o elemento que suporta as cargas aplicadas e podendo-se considerar que as fibras funcionam como um defeito, em vez de um reforço.

Orientação da fibra

Num compósito, as fibras podem ser orientadas de duas formas extremas: um alinhamento paralelo do eixo longitudinal das fibras, numa única direção, e uma orientação totalmente aleatória.

De uma forma geral, as fibras contínuas são alinhadas, enquanto que as fibras curtas podem ser alinhadas ou orientadas aleatoriamente. As propriedades dos compósitos que possuem fibras alinhadas (numa única direção) dependem fortemente da direção em relação à qual são medidas, verificando-se que a anisotropia se torna mais significativa à medida que o comprimento e o teor de fibras aumentam.

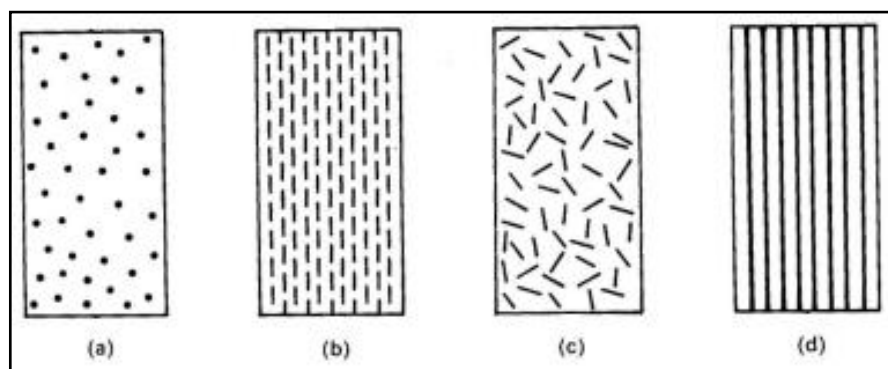


Figura 27 – Exemplos de compósitos (a) particulados distribuídos aleatoriamente (b) fibras descontínuas unidirecionais, (b) fibras descontínuas dispostas aleatoriamente (c) fibras longas unidirecionais

Compósitos com fibras alinhadas na direção de solicitação apresentam as melhores propriedades de resistência e módulo de elasticidade, que aumentam com o comprimento e teor de fibras. Quando a solicitação é na direção transversal os mesmos compósitos apresentam as piores propriedades, com a resistência à tração a decrescer e o módulo de elasticidade à tração a aumentar, à medida que o conteúdo e comprimento das fibras aumentam.

Quando as fibras são orientadas longitudinalmente, a rotura ocorre na direção normal às mesmas. Quando estas estão orientadas transversalmente à solicitação, a resistência oferecida pela fibra à propagação de fissuras é inferior à oferecida pela matriz.

Os valores máximos de resistência e módulo obtêm-se para compósitos reforçados com fibras contínuas, indicados para o fabrico de componentes que, em serviço, estejam sujeitos a estados de tensão uniaxial. Para estados de tensão bidimensional são frequentemente utilizados compósitos laminados, construídos por empilhamento de camadas alinhadas diferentemente orientadas. Compósitos reforçados com fibras curtas, aleatoriamente orientadas na matriz, apresentam propriedades intermédias entre os orientados na direção longitudinal e transversalmente, sendo normalmente utilizados em aplicações em que as fibras estão sujeitas a esforços totalmente multidireccionais, pois as suas propriedades são quasi-isotrópicas.

Decisões acerca da orientação, comprimento e quantidade de fibras, para um compósito particular, dependem do nível e natureza dos esforços envolvidos assim como dos custos de fabrico. Relativamente ao processo produtivo, as fibras curtas apresentam várias vantagens quando comparadas com as fibras contínuas, nomeadamente: ciclos produtivos inferiores, peças de geometria complexa, que não seriam possíveis de obter com fibras de reforço contínuas, e custos de produção consideravelmente menores.

Quantidade de fibra

O aumento na quantidade de fibra gera uma distribuição de tensões mais uniforme. É comum verificar-se um aumento do módulo e resistência à tração do compósito e diminuição da deformação após rotura. O limite máximo de quantidade de fibras verifica-se quando a matriz não é capaz de suportar as fibras e mantê-las juntas. Neste caso, as propriedades mecânicas do compósito sofrem decréscimos. Por outro lado, para quantidades muito baixas de fibra, a matriz revela elevadas deformações localizadas responsáveis pela rotura da ligação entre fibras e matriz, para baixos níveis de tensão. Nesta situação, as fibras descolam da matriz e revelam-se como um defeito no compósito, resultando num enfraquecimento da matriz demonstrado pela degradação das propriedades relativamente ao polímero puro.

Importância da adesão matriz-fibra

Uma das características essenciais para que um compósito seja considerado bem fabricado é a garantia da resistência da ligação entre fibra e matriz. Esta propriedade é crucial, uma vez que

nela reside a otimização da transferência de esforços da matriz plástica para as fibras resistentes.

Deste modo, um aspeto muito importante é a compatibilidade entre as fibras e a matriz. Os fatores que condicionam a adesão entre fibras e matriz dependem:

- Da natureza do tratamento das fibras
- Da adição de promotores de adesão à resina (por exemplo: anidrido maleico)
- Do grau de ligações cruzadas de matrizes termoendurecíveis
- Da T_g de matrizes termoplásticas em relação à temperatura ambiente
- Do grau de retração da matriz sobre as fibras durante o fabrico do compósito

Propriedades dos materiais compósitos

De acordo com a regra das misturas, cada fase constituinte do compósito contribui para as propriedades efetivas do compósito, sendo a contribuição dependente apenas da fração volumétrica dos constituintes. As formulações da regra das misturas possibilitam, geralmente, estimativas aproximadas. Além disso, a lei das misturas é uma forma de prever as propriedades mecânicas dos materiais compósitos de fibras contínuas.

$$P = P_a V_a + P_b V_b$$

Equação 1- Lei das misturas para materiais compósitos de fibras unidireccionais

Onde:

P , propriedade do compósito,

P_a e P_b , propriedades dos componentes a e b,

V_b e V_a são as frações volúmicas dos componentes a e b.

Para materiais compósitos cujos reforços estão orientados de forma não unidirecional as propriedades dos compósitos não podem ser obtidas simplesmente pela soma das propriedades mecânicas dos seus constituintes.

Um aspeto importante dos compósitos reforçados fibras e/ou partículas reside no facto do carregamento ser feito na matriz, que transfere carga para as fibras e/ou partículas através das interfaces. Dessa forma, a resistência ao cisalhamento interfacial e a efetividade do recobrimento destes componentes são matérias críticas para o modelo mecânico do

compósito, segundo Al-Qureshi (Casaril, Rovaris Gomes, Roberto Soares, Celso Fredel, & Ali Al-Qureshi, 2007).

Assim sendo, a Equação 1 deve ser manobrada pela introdução de termos independentes (fatores de correção), de modo a ajustar a eficiência da contribuição de cada um para a resistência mecânica do compósito.

$$P = \lambda P_m V_m + \beta P_f V_f + \gamma P_p V_p$$

Equação 2 - Adaptação da lei das misturas pela teoria da micromecânica para compósitos reforçados com fibras não unidirecionais e particulados (Casaril, Rovaris Gomes, Roberto Soares, Celso Fredel, & Ali Al-Qureshi, 2007)

Onde:

P, propriedade do compósito,

P_m , P_f e P_p , propriedades da matriz, fibra e particulado,

V_m , V_f e V_p , frações volúmicas da matriz, fibra e particulado,

β , fator de eficiência do reforço de fibras,

λ , eficiência do recobrimento das fases presentes por parte da matriz,

γ , função da razão entre a tensão de cisalhamento na interface matriz/partícula e a tensão de cisalhamento da matriz

Tabela 4 - Eficiência do reforço da fibra para alguns ângulos de orientação da fibra em relação à direção da solicitação

Orientação da fibra	Direção de aplicação da carga	β , fator de correção
Todas as fibras estão paralelas	Solicitação paralela às fibras	1
	Solicitação perpendicular às fibras	0
Bidirecionais (tecidos)	Solicitação bidirecional	1/2
Fibras distribuídas aleatória de forma uniforme, num plano	Qualquer direção	3/8
Fibras distribuídas aleatória de forma uniforme, num espaço tridimensional	Qualquer direção	1/5

2.3.1. Fibras naturais

Classificação das principais fibras naturais

As fibras naturais têm vindo a ser cada vez mais utilizadas como reforço de materiais compósitos. As plantas que produzem fibras naturais são classificadas de primárias ou

secundárias de acordo com a sua utilização. Quando o produto principal de uma planta é a fibra, esta é denominada de primária, ao passo que se a fibra for um produto secundário a denominação passa a ser de planta secundária. Juta, Sisal, Kenaf, Cânhamo são exemplos de plantas primárias, Ananás e Coco são exemplo de plantas secundárias.

A Tabela 5 mostra as principais fibras de origem vegetal, que podem ser utilizadas para reforçar materiais poliméricos, e a respectiva produção mundial.

Tabela 5 - Fibras naturais mais comercializadas (Faruk, Biedzki, Fink, & Sain, 2011)

Fibra	Produção mundial (10³ ton)
Bambu (<i>Bambusoideae</i>)	30000
Juta (<i>Corchorus capsularis</i>)	2300
Kenaf (<i>Hibiscus cannabinus</i>)	970
Linho (<i>Linum usitatissimum</i>)	830
Sisal (<i>Agave sisalana</i>)	378
Cânhamo (<i>Cannabis sativa</i>)	214
Côco (<i>Cocos nucifera</i>)	100
Rami (<i>Boehmeria nivea</i>)	100
Abacá (<i>Musa textilis</i>)	70

As fibras podem ainda ser classificadas de acordo com a sua origem na planta. As fibras vegetais geralmente crescem em feixes, localizados nos diversos órgãos que constituem as plantas. Podem estar associadas aos tecidos vasculares, constituindo fibras do floema e do xilema, ou serem independentes destes. Podem ser obtidas a partir das folhas (sisal, abacá, e ananás), sementes (côco, algodão e kapok) e do caule, núcleo e seiva da planta, (kenaf, cânhamo, linho, rami e juta).

Quando se efetua um corte transversal num caule de uma planta de crescimento anual é possível observarem-se várias regiões, tais como, a epiderme, o córtex, os tecidos vasculares de floema e xilema e a medula central (Figura 28).

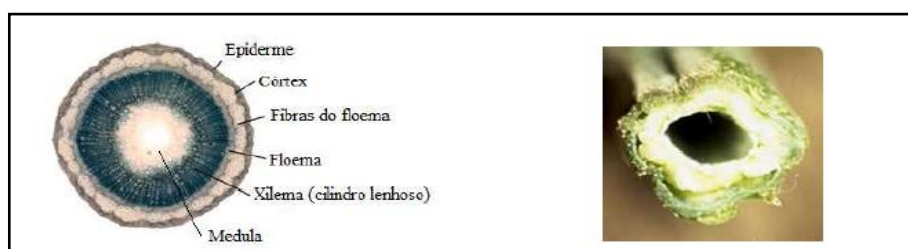


Figura 28 – Secção transversal típica de caules de linho e Cânhamo

As fibras do floema ocorrem ao longo de todo o caule ou entre os seus nós. Para promover a separação dos diversos feixes, que constituem um compósito natural, a matriz que os mantém unidos deve ser removida. O processo de separação denomina-se de maceração e deve ser seguido de processos mecânicos e limpeza.



Figura 29 - Caule da planta de cânhamo evidenciando os longos feixes de fibras (P. Mutjé, López, Vallejos, & López, 2007)

As fibras provenientes de folhas, à semelhança das anteriores, ocorrem em feixes constituídos por várias fibras elementares continuamente sobrepostas, que percorrem todo o comprimento das folhas. A separação do tecido fibroso da polpa envolvente é realizada mediante raspagem mecânica, uma operação simples de realizar uma vez que a adesão entre estes dois constituintes é pequena. Posteriormente, as fibras são lavadas, secas e submetidas a uma operação de limpeza final (Romão, 2012).



Figura 30 - (a) Planta, folhas de sisal (usualmente 0,9-2,0 metros de comprimento) e (b) fibras de sisal

As fibras do caule são classificadas como fibras macias porque, sejam ou não lenhificadas, são relativamente moles e flexíveis enquanto as fibras das folhas, fortemente lenhificadas, são classificadas como fibras duras, devido ao facto de serem ásperas e pouco flexíveis (Esau, 1974).

Composição química das fibras naturais

Devido à sua origem natural, a composição química das fibras é extremamente variável de planta para planta e, algumas vezes, também dentro de diferentes partes da mesma planta. Os componentes químicos encontram-se distribuídos pela parede celular, composta pela parede primária e parede secundária. Os três principais componentes das células vegetais são celulose, hemicelulose e lenhina. Existe um quarto componente, a pectina, geralmente menos preponderante, e ainda ceras ou óleos superficiais. A hemicelulose e a celulose em conjunto formam a estrutura principal da célula. A função da lenhina é de fornecer resistência superficial ao par hemicelulose-celulose, em algumas plantas atua também como barreira protetora. A Figura 31 representa de forma esquemática e generalizada a estrutura e constituição de uma fibra vegetal.

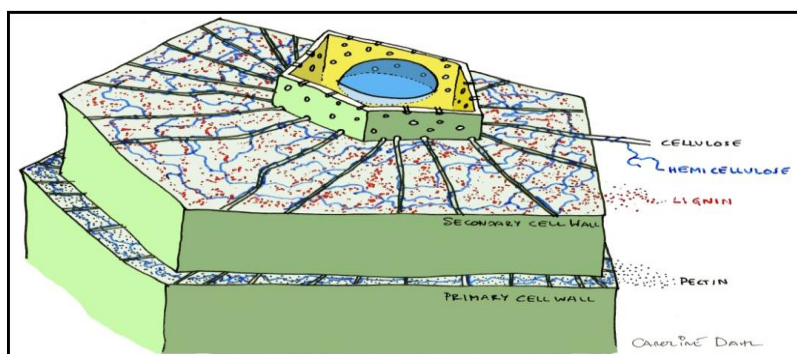


Figura 31 – Constituição da planta com destaque para parede primária e secundária e seus constituintes (Caroline Dahl)

Devido precisamente à origem natural não controlada, uma característica das fibras de origem vegetal está relacionada com a heterogeneidade das suas propriedades. Existem diversos estágios na produção de fibras que influenciam a sua qualidade. A Tabela 6 reúne os diferentes fatores que originam diferenças.

Tabela 6 - Fatores que afetam as propriedades das fibras naturais

Crescimento da planta	Espécie da planta Forma de cultivo e clima local Localização da fibra na planta
Colheita (maturação)	Espessura da parede Qualidade da fibra Aderência entre fibras e estrutura envolvente
Extração da fibra	Processo de decorticação Tipo de amolecimento
Fornecimento	Condições de transporte Condições de armazenamento Idade da fibra

Naturalmente as variações nos estágios de produção refletem em divergências na estrutura química e consequentemente nas propriedades mecânicas das fibras. A Tabela 7 é uma compilação dos intervalos de variação de teor de componentes químicos nas fibras naturais mais utilizadas como reforço de materiais compósitos.

Tabela 7 - Variações nas quantidades relativas de constituintes das fibras selecionadas(Dittenber & GangaRao, 2011)

Fibra	Celulose (wt.%) ⁹	Hemicelulose (wt.%)	Lenhina (wt%)	Pectina (wt%)	Ceras (wt.%)	Absorção de umidade (wt.%)
FIBRAS DO FLOEMA						
Linho	71 - 78.5	18.6 - 20.6	2.6	2.2	1.7	8 - 12
Cânhamo	70.2 - 74.4	17.9 - 22.4	3.7 - 5.7	0.9	0.8	6.2 - 12
Juta	59 - 71.5	13.6 - 20.4	11.8 - 13	0.2 - 0.4	0.5	12.5 - 13.7
FIBRAS DAS FOLHAS						
Sisal	60 - 78	10.0 - 14.2	8.0 - 14	10.0	2	10 - 22
FIBRAS DA SEMENTE/FRUTO						
Algodão	85 - 90	5.7	-	0 - 1	0.6	7.85 - 8.5
Coco	32 - 43	0.15 - 0.25	40 - 45	3 - 4	-	8

A celulose é o componente essencial de todas as fibras de origem vegetal, trata-se de um polímero hidrofílico que contém grupos hidroxilo alcoólicos (Figura 32). Devido a estes grupos hidroxilo, todas as fibras de plantas são de natureza hidrofílica.

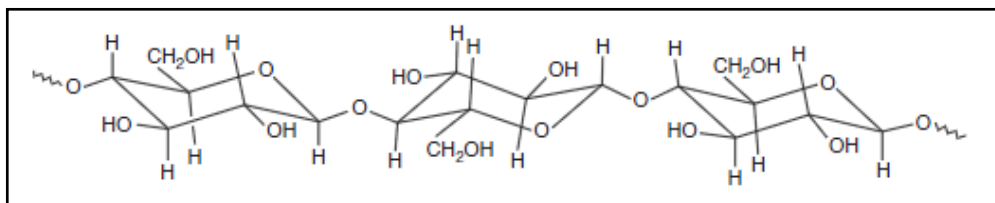


Figura 32 - Estrutura da unidade de celulose (Baillie, 2004)

A hemicelulose é formada por um grupo de polissacarídeos ligado à celulose. A hemicelulose contém diferentes tipos de unidades de açúcar. É um polímero altamente ramificado (em contraste com a celulose linear) e tem um grau de polimerização de 10-1000 vezes mais baixa do que a da celulose.

A lenhina é um polímero de hidrocarboneto que contém grupos fenólicos, cuja estrutura química exata permanece desconhecida. A lenhina e a pectina atuam como um material de suporte estrutural preenche os espaços entre as fibras de polissacarídeos, que mantêm a

⁹ Refere-se à percentagem de massa do constituinte

estrutura natural das paredes das células da planta em conjunto. As propriedades da lenhina podem variar com o tipo de fibra, mas tem sempre a mesma composição básica. As propriedades mecânicas de lenhina são mais baixas do que a da celulose (Baillie, 2004).

Propriedades físicas e mecânicas das fibras naturais

Propriedades físicas como as dimensões, geometria e possíveis defeitos são características que afetam as propriedades mecânicas das fibras.

As fibras sintéticas, pela sua origem não natural, são materiais que apresentam homogeneidade dimensional. A secção transversal de fibras sintéticas é constante ao longo de todo o comprimento. Pelo contrário, as fibras de origem vegetal, pela sua origem natural não controlada, apresentam uma secção transversal que, para além de oca, não é, geralmente, de dimensão constante ao longo de todo o seu comprimento. A forma da secção transversal depende de vários fatores, nomeadamente: do tipo de fibra, da pressão exercida pelas células vizinhas, das forças de tensão superficial, do grau de maturidade, do processo de extração e dos tratamentos a que foi submetida.

A natureza heterogênea das fibras de origem vegetal reflete-se, então, em variações dimensionais como o comprimento e secção transversal de cada fibra individual. Independentemente da zona anatómica da fibra, a sua forma é semelhante a tubos microscópicos (Romão, 2012). Na Tabela 8 e na Tabela 9 são apresentadas as dimensões típicas e os valores de algumas propriedades mecânicas de algumas fibras vegetais.

Tabela 8 - Dimensões características de algumas fibras vegetais

Fibra	Comprimento [mm]		Diâmetro [μ m]	
	Intervalo	Médio	Intervalo	Médio
FIBRAS DO FLOEMA				
Linho	9 - 70	33	5 - 38	19
Cânhamo	5 - 55	25	10 - 51	25
Juta	2 - 5	2	10 - 25	20
FIBRAS DAS FOLHAS				
Sisal	0,8 - 8	3,3	8 - 41	20
FIBRAS DA SEMENTE/FRUTO				
Algodão	10 - 40	18	12 - 38	20
Coco	0.3 - 1.0	0.7	12 - 24	20

Tabela 9 - Compilação das propriedades físicas das fibras seleccionadas (Dittenber & GangaRao, 2011), (Romão, 2012)

Fibra	Densidade (g/cm³)	Tensão de rotura à tração (MPa)	Módulo de elasticidade à tração (GPa)	Alongamento após rotura (%)
Linho	1,4 - 1,5	345 - 1500	27,6 - 80	1,2 -3,2
Cânhamo	1,4 - 1,5	550 - 900	70	1,6
Juta	1.3 - 1.49	320 – 800	8 – 78	1,5 – 1,8
Sisal	1.33 - 1.5	363 - 700	9,4 - 38	2 – 14
Algodão	1,5 – 1,6	287 - 597	5,5 – 12,6	7,8 – 8
Coco	1,2	175 - 220	4,0 – 6,0	15 – 30

Modificação de fibras naturais

Como referido anteriormente, uma das desvantagens do uso de fibras vegetais prende-se com o facto da não regularidade e não homogeneidade das suas propriedades, podendo assim causar um grau de dispersão das propriedades dos compósitos em que estarão inseridas.

Por outro lado, de uma forma geral as fibras naturais possuem carácter hidrofílico, contrariamente às matrizes geralmente hidrofóbicas. Impurezas tais como ceras ou óleos que cobrem a superfície da parede celular podem ser removidos para melhorar a adesão entre fibras e a matriz de resina.

Modificações das fibras naturais são procedimentos, mecânicos ou químicos, que se consideram quando se pretende melhorar as propriedades superficiais das fibras de modo a que a adesão com diferentes matrizes seja mais eficaz. De entre os tratamentos mecânicos destacam-se o tratamento corona e o tratamento por plasma, procedimentos pouco interessantes dado o elevado custo que acarretam. Em alternativa, existem tratamentos químicos: o tratamento por silano, por hidróxido de sódio (mercerização ou alcalinização), tratamentos enzimáticos e acetilização.

Um tratamento não convencional é o tratamento efetuado através do contacto com sumo de limão. Este tratamento é utilizado no Brasil, nas fibras de buriti, com o intuito de realizar uma limpeza à superfície da fibra. Atualmente não são conhecidas aplicações das fibras de buriti em materiais compósitos. O tratamento é aplicado ruralmente para melhorar a trabalhabilidade em aplicações convencionais destas fibras, tais como o artesanato.

2.3.2. Matrizes naturais

Utilização de solos como matriz de compósitos

A utilização dos solos como matriz para construção de materiais compósitos é uma prática milenar. Este tipo de materiais tem sido utilizado maioritariamente para edificação. Hoje em dia, devido à fácil execução de algumas técnicas e à simples obtenção de matérias-primas, é frequente verificar-se ainda a utilização de construções em terra.

Tradicionalmente, a matriz é constituída por solo (areias de diferentes granulometrias) e água, sendo geralmente reforçada por fibras naturais. Existem variações nas técnicas de processamento dos compósitos de terra resultando em diferentes produtos: adobes, blocos de terra comprimida (BTC), blocos de taipa ou terracota. A Tabela 10 descreve os procedimentos das principais técnicas construtivas artesanais deste tipo de compósitos.

Tabela 10 - Principais técnicas construtivas artesanais (Adaptado de (Pacheco Torgal & Jalali, 2011))

	Procedimento	Observações
Adobe	Composto de argilas, água, e fibras naturais. Tradicionalmente, a mistura é realizada de forma artesanal, são utilizados moldes de para a formação de tijolos, que são posteriormente cozidos ao sol.	<ul style="list-style-type: none"> • Construções apropriadas para climas quentes e secos. • Material que garante variações térmicas mínimas devido à sua inércia térmica. <ul style="list-style-type: none"> • Fraca resistência à água. • Incompatível com cimentos, verificando-se aceleração e a degradação dos tijolos de adobe
BTC	Evolução do adobe por estabilização do solo através da prensagem do solo confinado num molde, permitindo obter pequenos bolos de terra prensada, mais resistentes e duráveis em relação aos adobes.	<ul style="list-style-type: none"> • Operação pode ser realizada manualmente ou por meio de maquinaria • Obtenção de blocos bastante resistentes embora mais pesados que o adobe. <ul style="list-style-type: none"> • Rápida execução, facilidade de montagem e uma diminuição dos resíduos de construção
Taipa	<p>Técnica de construção monolítica que consiste na compactação de um solo de consistência de terra húmida.</p> <p>A terra é compactada em camadas de aproximadamente 10 cm, até preencher todo o taipal, este é posteriormente removido e reerguido para a camada seguinte.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Requer pouca quantidade de água sendo, por esse motivo, utilizada onde este recurso é escasso. <ul style="list-style-type: none"> • A compactação pode fazer-se manualmente ou com uso a maquinaria. • É comum utilizar outros materiais como reforço. Exemplos destes materiais são tijolo cerâmico maciço, pedra, cortiça
Terracota artesanal	Técnica de preparação semelhante ao adobe, com a distinção de que os tijolos são posteriormente cozidos num forno.	<ul style="list-style-type: none"> • A desmoldagem pode ser realizada com água ou areia. • Apresentam melhor comportamento quando em contacto com água:

A Tabela 11 reúne informação sobre os revestimentos mais comuns associados à construção em terra, especialmente à construção em adobe.

Tabela 11 - Revestimentos superficiais

Revestimento	Constituintes	Observações
Mud plaster	Argila, areia, água e palha ou erva	Semelhante ao adobe, resultando em boa adesão;
White wash	Pedra de gesso pulverizada, água e argila;	Baixa durabilidade e custos de manutenção relativamente elevados;
Reboco de cal	Camadas espessas de cal, areia e água;	São efetuados sulcos nas paredes para facilitar a adesão;
Stucco de cimento	Cimento, areia e água;	Adesão efetuada através de malha de arame e pregos que na presença de humidade pode ser deteriorada;
Outros revestimentos	Tintas à base de óleo ou de resina, pinturas de cimento, extratos de plantas ou sangue de animais;	Alguns destes revestimentos são baratos e de fácil aplicação por se encontrarem disponíveis localmente;

Construção em terra em Malonguete

As técnicas construtivas em Malonguete variam sendo possível encontrar construções monolíticas ou com engradamentos (Figura 33).

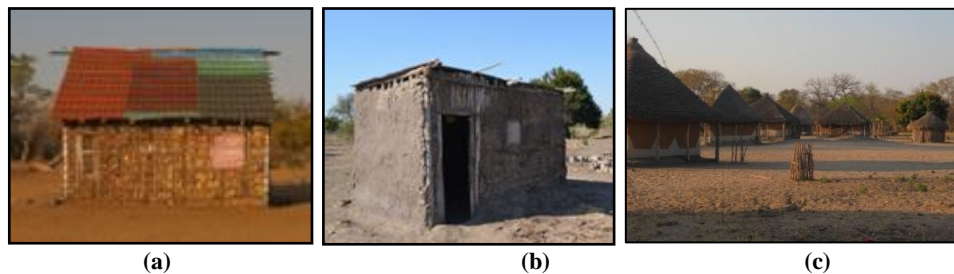


Figura 33 – (a) Casa construída com engradamento de madeira (b) Construção com engradamento de madeira e revestimento com terra (c) Construção monolítica com revestimento do tipo *mud plaster* (Foto: Teresa Afonso, 2012)

Outro tipo de construção é a do tijolo cozido, *terracota*. Apesar de a população ter conhecimento desta técnica não é muito frequente o seu uso. Utiliza-se uma terra de cor castanha/cinzenta, proveniente de antigos formigueiros ou outros locais específicos do conhecimento da população (ver Figura 34). A terra é recolhida, misturada com água e palha e colocada nos moldes, por mulheres e crianças. A secagem dos tijolos ocorre durante três dias, seguindo-se montagem de uma estrutura com os tijolos dentro da qual é colocada a madeira que cose os tijolos.

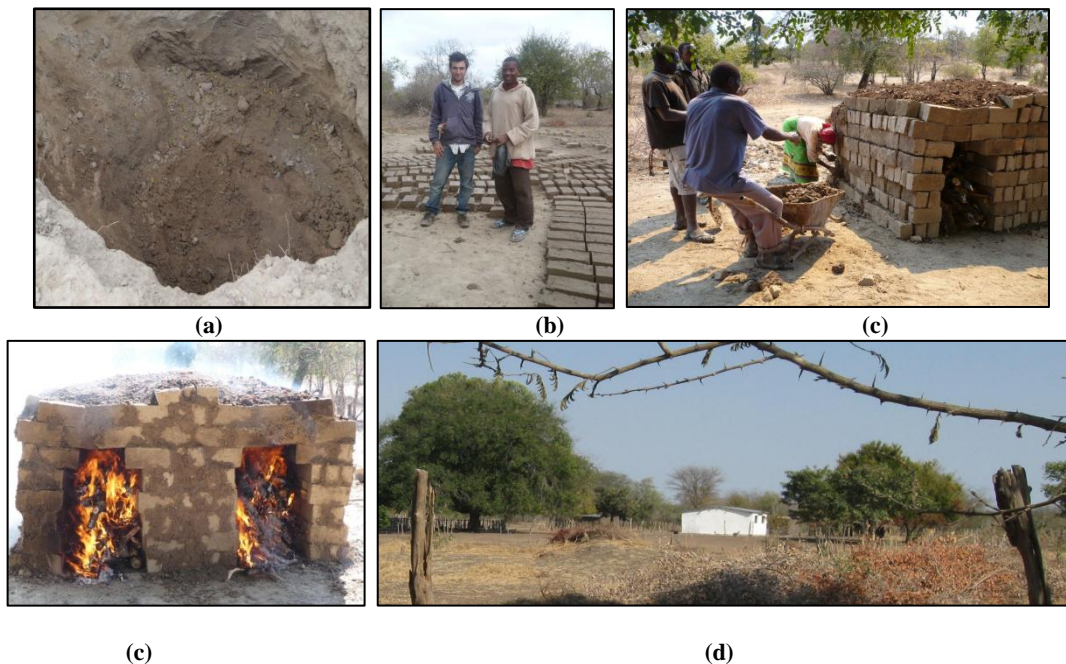


Figura 34 – (a) Terra utilizada na construção dos blocos (b) Blocos a secar, (c) Forno para queima dos blocos (d) Queima dos tijolos (e) Posto de saúde construído em terracota, finalizado, após revestimento e pintura edificado (Foto: Nuno Gonçalves, 2011)

Para a construção do posto de saúde foram necessários cerca de 1000 blocos. O fabrico dos blocos contou com a participação de uma equipa de cerca de 20 pessoas, num processo que demorou cerca de uma semana.

Matriz polimérica

Existem diversos tipos de polímeros utilizados como matrizes de compósitos, sendo que existe uma distinção entre dois grupos de polímeros: termoplásticos e termoendurecíveis.

Aos dois grupos estão associadas várias diferenças relacionadas principalmente com a forma de processamento e aplicação dos compósitos resultantes. Os polímeros termoplásticos oferecem a possibilidade de serem fundidos e solidificados várias vezes, sem se verificarem perdas acentuadas nas suas propriedades. Por outro lado, matrizes termoendurecíveis uma vez curadas assumem forma permanente, não amolecendo se forem reaquecidas. Polímeros termoendurecíveis permitem obter compósitos com propriedades de rigidez e resistência superiores às dos compósitos de matriz termoplástica e com custos de processamento mais baixos. Matrizes termoplásticas apresentam a grande vantagem de serem facilmente recicláveis e são mais tenazes. A Tabela 12 reúne algumas das principais diferenças nos polímeros utilizados como matrizes em compósitos.

Tabela 12 - Principais diferenças entre polímeros termoplásticos e termoendurecíveis

Termoendurecível	Termoplástico
Comportamento frágil numa gama larga de temperaturas;	Comportamento frágil abaixo da T_g ;
Sem comportamento plástico;	Comportamento visco-elástico imediatamente acima da T_g , seguido por comportamento plástico;
Polímero degrada ou queima em vez de derreter, não podendo ser reciclado deste modo;	Pode ser derretido e remoldado num numero limitado de ciclos antes de começar a degradar-se significativamente;
Pode ser utilizado em moldação por transferência apenas num ciclo;	Temperatura máxima de trabalho é geralmente inferior à dos termoendurecíveis;

Gomas naturais

Define-se goma como a uma substância polimérica que, em solvente ou agente de inchamento apropriado e mesmo a baixas concentrações, forma uma dispersão ou soluções altamente viscosas ou até mesmo um gel. Assim sendo, o termo é aplicável a um leque de substâncias, incluindo hidrocarbonetos de alto peso molecular, borrachas, proteínas, polissacarídeos e seus derivados, além de alguns polímeros sintéticos (Feitosa Rodrigues, Célia M. de Paul, & M. O. Costa, 1993). Industrialmente, no entanto, o termo goma, é mais específico, e está associado a polissacarídeos¹⁰ e aos seus derivados. O solvente utilizado neste caso é a água.

As gomas podem ser classificadas em naturais e modificadas. As naturais podem ser obtidas da resinagem de árvores, de sementes, de algas ou por fermentação microbiológica (Agnoli & Zanchetta, 2009). A resinagem consiste em efetuar um corte na planta através do qual é expelido um fluído cuja função é cicatrização da planta.

A Tabela 13 apresenta exemplos de gomas classificadas pela referência e algumas gomas naturais classificadas consoante a sua origem.

¹⁰ Polímeros naturais de grande massa molecular. A reação destas macromoléculas com água (hidrólise) origina a desagregação de polissacarídeos em monossacarídeos.

Tabela 13 - Gomas naturais e gomas modificadas (adaptado de (Feitosa Rodrigues, Célia M. de Paul, & M. O. Costa, 1993))

Gomas naturais	Gomas modificadas
Exsudação de plantas <ul style="list-style-type: none"> • Goma arábica • Goma do cajueiro • Goma damar • Colofónia • Látex 	Carboximetilcelulose Hidrometilcelulose Hidroetilcelulose Carboximetilamido Acetato de amido Hidroxipropilamido
Extraídas de algas <ul style="list-style-type: none"> • Ágar • Alginato 	
Extraídas de sementes <ul style="list-style-type: none"> • Goma do marmeleiro 	
Fermentação microbológica <ul style="list-style-type: none"> • Dextrama 	

Mediante alterações no processo de extração, as resinas adquirem propriedades físicas e químicas diferentes. Estes polímeros naturais caracterizam-se por baixas densidades, baixas temperaturas de fusão com algumas disparidades entre propriedades dentro da própria espécie. Estas semelhanças refletem-se nas aplicações que são utilizadas atualmente, comuns a muitos destes materiais.

As gomas são substâncias incolores, inodoras, insípidas e não tóxicas (Feitosa Rodrigues, Célia M. de Paul, & M. O. Costa, 1993). Uma das justificações para o seu uso em processos tecnológicos semelhantes relaciona-se precisamente com as parecenças no seu comportamento.

Tome-se, por exemplo, as aplicações de gomas na indústria da alimentação. A maioria das gomas sofrem hidrólise¹¹ ácida e enzimática. O processo de hidrólise ácida requer uma acidez superior à do suco gástrico e/ou de um tempo de permanência elevado no estômago. Por sua vez, a hidrólise enzimática, quando ocorre, é em pequena extensão, uma vez que não existem enzimas no trato gastrointestinal capazes de hidrolisar a maioria dos polissacarídeos. Justifica-se, assim, que a maioria das gomas, apesar de sofrer hidrólise ácida e enzimática, atravesse o trato gastrointestinal com pouca ou nenhuma modificação (Feitosa Rodrigues, Célia M. de Paul, & M. O. Costa, 1993).

¹¹ Processo de separação de moléculas através do contacto com a água

Esta propriedade, e outras mais específicas, conferem às gomas diversas aplicações tecnológicas. As principais aplicações industriais de gomas hidrossolúveis são os detergentes, têxteis, adesivos, papel e tintas. São utilizadas também na alimentação, farmácia e cosméticos como agentes espessantes, gelificantes, emulsificantes, flocculantes, clarificantes, encapsuladores e controladores de caloria (Kennedy & White, 1983).

As gomas naturais ocorrem frequentemente misturadas com sais orgânicos e outras matérias de baixa massa molar, e também, com espécies como proteínas, lignina, ácidos nucleicos, que precisam ser separados (Kennedy & White, 1983). Após a extração, os polímeros são submetidos a diferentes processos, como por exemplo a destilação, no caso da colofônia, ou processos de limpeza para retirar impurezas. Por outras palavras, passa-se de *goma bruta* para *goma isolada*.

A manipulação de alguns de algumas destas gomas já foi relatada, sendo possível efetuar alterações para transformar os materiais e melhorar propriedades químicas e físicas de diferentes modos. A goma de cajueiro é uma das substâncias mais estudadas. A obtenção de goma deste polímero na forma isolada pode ser efetuada por dois métodos, método Rinaudo-Milas e método Anderson. Para maior detalhe podem ser consultadas as referências (Feitosa Rodrigues, Célia M. de Paul, & M. O. Costa, 1993).

Gomas naturais obtidas por resinagem

Látex natural

O látex é uma secreção cuja cor varia do esbranquiçado até ao amarelo. Pode ser obtida de plantas como a papoila, a seringueira, o mamoeiro e o caucho (castilloa), embora somente o látex extraído da seringueira seja comercializado mundialmente (Galiani, Malmonge, Santos, & Malmonge, 2007)



Figura 35 - Sangramento da seringueira

Colofónia

A resina colofónia, também denominada por breu, ou simplesmente colofónia, é um subproduto da resina de pinheiro. Trata-se de um tipo de resina de origem vegetal que se obtém a partir de várias espécies vegetais da família das *Pinaceae*. Será apresentada, mais adiante, uma pesquisa mais aprofundada sobre este polímero.

Mirra

A mirra é uma árvore espinhosa, de folhas caducas, que pode atingir 5 metros de altura, com flores vermelho-amarelo, e frutos pontiagudos. É nativa do nordeste da África (Somália e partes orientais da Etiópia) encontra-se também no Médio Oriente, Índia e Tailândia. Cresce em matas e prefere solos bem drenados e muita exposição ao sol. A resina é denominada também por mirra e à semelhança das outras secreções é obtida por resinagem dos caules da árvore.



Figura 36 – A árvore Mirra e a resina Mirra

Goma Arábica

A goma-arábica é uma substância cuja cor pode variar desde a cor amarelada até ao cinza claro, é inflamável, embora com um ponto de inflamação superior a 250 °C, com boa solubilidade em água (aproximadamente 500 g/L). Quimicamente, a goma-arábica é um polissacarídeo com quantidades variáveis de constituintes e alguns ácidos derivados e múltiplas glicoproteínas.

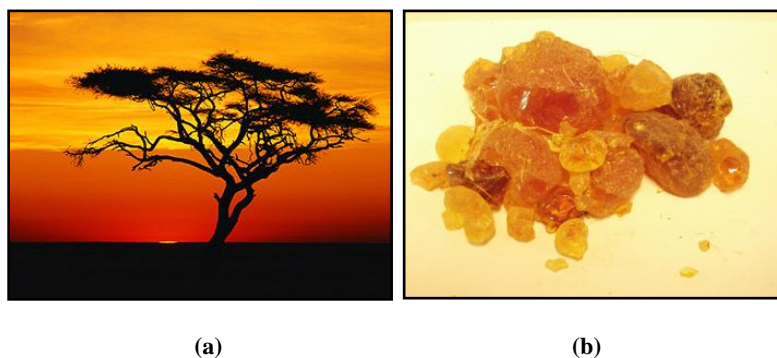


Figura 37 - (a) A árvore, acácia e (b) a goma arábica

Goma damar

A goma varia na cor desde o amarelo-pálido até ao castanho-acinzentado, com um ponto de fusão próximo dos 120°C e tem uma densidade compreendida entre os valores de 1,04-1,12 gcm⁻³. A goma damar é uma resina constituída por compostos de baixo peso molecular, contudo contém uma fração polimérica, um composto de policadieno.



Figura 38 - Goma damar

Goma de cajueiro

O cajueiro é uma planta originária do norte e nordeste do Brasil, com arquitetura de copa tortuosa e de diferentes portes. O tipo comum pode atingir entre 5 e 12 m de altura, mas em condições muito propícias pode chegar a 20 m. O tronco do cajueiro produz uma resina amarela, conhecida por goma do cajueiro. A goma é constituída por diferentes proporções de compostos fenólicos, cuja função é formar uma barreira protetora da castanha de caju.

A popularidade de castanha de caju tem levado à expansão desta planta para além do país original, o Brasil. Atualmente o caju é cultivado em mais de 30 países. A colheita de castanha de caju ronda cerca de 2,3 milhões de toneladas por ano. Os principais produtores são a Índia, Vietnam, Brasil e Nigéria (Jones, 2007).

A goma de cajueiro pode substituir a goma arábica, utilizada na indústria do papel e farmacêutica. A resina é solúvel em água, apresentando um grande potencial de industrialização como cola líquida para papel, em cosméticos, como aglutinante de cápsulas e comprimidos, e na indústria de alimentos, como estabilizante.

A incorporação de goma de cajueiro em materiais compósitos também já foi relatada, nomeadamente com fibras de sisal (Bisanda & Ansell, 1992).

Tabela 14 - Polímeros naturais e localização geográfica (Adaptado de (Jones, 2007), (Agnoli & Zanchetta, 2009)(Feitosa Rodrigues, Célia M. de Paul, & M. O. Costa, 1993))

Polímero natural	Origem	Localização	Observações
Látex, borracha natural	Seringueira, <i>Hevea brasiliensis</i>	Brasil	Não indicada para temperaturas superiores a 80 °C. Utilizada no fabrico de pneus, correias transportadoras e de transmissão de movimento, indústria dos plásticos e pavimentos, entre outras.
Mirra	Mirra, <i>Commiphora molmol</i>	Corno de África, Médio Oriente, Índia e Tailândia	Utilizada na medicina, devido a propriedades antissépticas; Qualidades embalsamadoras, utilizada pelo egípcios na mumificação
Goma arábica	Acácia, <i>Acácia senegal</i> e <i>Acácia seyal</i>	Nordeste brasileiro, África oriental	Indústria farmacêutica, de alimentação, colas e tintas. Utilizado como espessante, aglomerante e dispersante. (solúvel em água)
Damar	<i>Canarium strictum</i>	Índia e Leste asiático	
Colofónia	Pinheiro, <i>Pinus</i>	Europa, América do Norte, África oriental, China e Sudoeste asiático	Indústria da borracha, vernizes, tintas, colas, cosméticos e papel; (insolúvel em água)
Goma de cajueiro	Cajueiro, <i>Anacardium occidentale</i>	Brasil	Indústria de colas líquidas para papel, farmacêutica, cosmética. Propriedades aglutinantes, estabilizantes e clarificantes (solúvel em água)

Modificação de polímeros naturais

À semelhança do que ocorre com as fibras de origem vegetal, também para os polímeros naturais existem tratamentos que visam melhorar as suas propriedades químicas, térmicas ou mecânicas.

Esterificação e Reticulação

O processo de reticulação consiste na promoção de criação de ligações cruzadas entre cadeias poliméricas. A criação deste tipo de ligações aumenta a dureza e ponto de fusão dos polímeros, contudo diminui a flexibilidade.

Reticulação química

As ligações cruzadas são formadas por reações químicas iniciadas por calor, pressão, mudança no pH ou radiação. Expor uma resina não polimerizada ou parcialmente polimerizada com substâncias específicas, denominadas de agentes de ligação cruzada, resulta numa reação química que forma ligações cruzadas.

Por exemplo, a vulcanização é um processo de alteração química que ocorre pela junção de aditivos de vulcanização (enxofre), e aplicação de combinações entre diferentes parâmetros como pressão, calor e tempo. É o principal tratamento químico na obtenção de borracha. O látex natural apresenta comportamento de viscosidade cambiável consoante a temperatura ambiente. Em dias frios pode apresentar comportamento quebradiço, comparativamente em dias quentes apresenta textura mais viscosa. O processo de vulcanização estabiliza esta propriedade tornando o látex em *borracha vulcanizada*, um componente não sensível a variações de temperatura ambiente.

Reticulações químicas formam ligações covalentes, estáveis mecânica e termicamente, por isso, uma vez formadas elas são difíceis de romper.

Reticulação física

Reticulações físicas são processos de ligação cruzadas na microestrutura do polímero para alcançar estabilidade. Este tipo de processo oferece uma gama maior de aplicações do que a reticulação convencional, uma vez que as ligações são reversíveis, por isso permite a reciclagem do material.

Reticulação por oxidação

Alguns polímeros quando submetidos ao oxigênio atmosférico sofrem alterações que dão origem a ligações cruzadas entre as moléculas. Em alguns casos esta situação não é desejável e, portanto, as reações de polimerização recorrem ao uso de antioxidantes para atrasar o processo de formação de ligações cruzadas oxidativas.

Noutros casos, quando a formação de ligações cruzadas por oxidação é desejável, um agente de oxidação, como o peróxido de hidrogênio pode ser utilizado para acelerar o processo.

Esterificação

A reação química de esterificação consiste na adição de um álcool com um ácido carboxílico. Trata-se de uma reação reversível que origina um estér e água. À temperatura ambiente é um processo demorado, contudo os reagentes podem ser aquecidos para acelerar o processo.

Solubilidade

Dá-se o nome de solução a uma mistura uniforme de uma substância líquida com capacidade de dissolver outras substâncias. A substância ou substâncias dissolvidas são designadas por soluto, designando-se a outra substância por solvente. Na mistura, o soluto encontra-se sempre em menor quantidade.

Diz-se que uma dada substância líquida tem poder solvente quando as suas moléculas constituintes têm a capacidade de vencer as forças de coesão responsáveis pela união das moléculas que constituem o soluto (forças de Van der Waals¹²).

O poder solvente ou solvência de uma dada substância é traduzido, na prática, pelo parâmetro de solubilidade de Hildebrand (δ). É, de certa forma, uma medida das forças de Van der Waals, derivada da densidade de energia coesiva do solvente, grandeza por sua vez derivada do calor de vaporização.

Quando se aquece uma substância líquida, a sua temperatura sobe continuamente até ser atingido o seu ponto de ebulição. Alcançado este momento, a subida da temperatura cessa e a energia calorífica transmitida ao líquido é utilizada para fazer passar as suas moléculas do estado líquido ao estado de vapor. A temperatura do sistema apenas voltará a subir, após todo o líquido ter sido vaporizado.

O calor de vaporização é o valor total de energia necessária para que todo o líquido se altere para o estado gasoso. Por norma, este valor é expresso relativamente a uma molécula. O valor desta energia está relacionado com o valor das forças de Van der Waals, que mantém unidas as moléculas de substância no seu estado líquido (Caetano, 2011).

Posto isto, a relação que existe entre calor de vaporização e forças de Van der Waals pode ser extrapolada para a relação entre vaporização e solubilidade, já que as forças coesivas que impedem a vaporização de um líquido são as necessárias a vencer para o solubilizar. A miscibilidade entre duas substâncias apenas será possível quando as forças de coesão que unem as suas moléculas forem similares e, ainda mais corretamente, quando as suas densidades de energia coesiva forem muito semelhantes.

A densidade da energia coesiva é dada pela Equação 3.

¹² As forças de Van der Waals são forças de natureza física. São menos resistentes que forças de natureza química como ligações iônicas ou covalentes.

$$c = \frac{\Delta H - RT}{V_m}$$

Equação 3 – Densidade da energia coesiva

Onde:

 ΔH , calor de vaporização

R, Constante dos gases perfeitos

T, Temperatura absoluta, °K

 V_m , Volume de uma mole de substância

O parâmetro de solubilidade de Hildebrand, desenvolvido em 1936, é dado pela raiz quadrada da densidade de energia coesiva. A unidade SI é MPa^{1/2}.

$$\partial = \sqrt{c} = \sqrt{\frac{\Delta H - RT}{V_m}}$$

Equação 4 – Parâmetro de solubilidade de Hildebrand

2.3.3. Agregados naturais (areias) e ligantes poliméricos

Os polímeros sejam eles, termoplásticos ou termoendurecíveis, também são utilizados como aglomerantes dos constituintes do solo (agregados ou areias) na formação de materiais compósitos. Quando é usada areia fina como massa mineral o compósito referido designa-se por argamassa polimérica. Noutras partículas que incluem brita, gravilha, limalha de pedra, calcário e sílica (sílica moída ou sílica em pó), granito, quartzo, argila, vidro expandido, partículas metálicas uma denominação frequente é a expressão *betão polimérico*.

A produção destes materiais consiste, geralmente, na mistura dos agregados (solo), um monômero ou pré-polímero¹³, um endurecedor e catalisador, podendo-se também utilizar outros ingredientes como plastificantes e retardantes ao fogo. É também frequente utilizar-se o silano para reforçar a ligação a matriz polimérica e o agregado. Os reforços mais estudados incluem fibras de vidro, mantas ou emaranhados à base de fibras de vidro ou tecidos, fibra de carbono e fibras metálicas (Monteiro, 2005).

¹³ Produto resultante da polimerização parcial de um monómero, com um endurecedor (agente de ligação cruzada)

A ligação entre o agregado e a resina é um fator importante na resistência do compósito. A natureza desta ligação é afetada, entre outras, por propriedades físicas e químicas dos agregados, designadamente, a composição mineralógica e química. A superfície do agregado deve ser limpa e livre de partículas de argila ou barro aderentes e os agregados devem ser secos antes de serem misturados com a resina, para prevenir a inibição da cura da resina.

2.3.4. Considerações sobre o processamento e aplicações de compósitos de origem vegetal

Um aspeto crucial relativo à qualidade dos compósitos é a técnica de processamento que lhe dá origem. A escolha deve ter em conta a aplicação e desempenho esperados para o material e os custos.

A natureza dos materiais de origem vegetal exige ajustes nas técnicas de fabrico, nomeadamente no que toca à temperatura de processamento e à natureza hidrófila das fibras vegetais, que dificulta a dispersão das mesmas no seio de matrizes hidrófobas, como é o caso de alguns polímeros naturais. Assim sendo, um dos aspetos obrigatórios no processamento de materiais de origem vegetal é a redução da temperatura aplicada no processamento destes novos materiais abaixo do limite de degradação.

Os materiais de origem vegetal têm vindo a ser cada vez mais solicitados para aplicações em compósitos por diversos motivos, tais como a natureza renovável e possibilidade de reciclagem.

A nível industrial o setor automóvel é um dos impulsionadores da utilização de fibras vegetais como reforço de materiais compósitos, motivado principalmente por motivos ambientais e económicos. Em algumas situações, compósitos reforçados por fibras naturais podem ter uma contribuição relativamente positiva em termos de propriedades específicas, estando muitas vezes associados a uma melhor relação peso/propriedade mecânica, quando comparados com outros materiais tradicionais. Estes materiais podem estar também associados a boas propriedades acústicas (redução de ruído, bom isolamento) (Romão, 2007).

Relativamente a aplicações não industriais, em especial no campo do desenvolvimento e das tecnologias apropriadas as fibras naturais, sendo recursos disponíveis no local, também têm um papel cada vez mais preponderante.

A Figura 39 mostra a aplicação do processo de enrolamento filamental para obtenção de um reservatório em sisal e a manufatura de um reservatório de juta e resina melamínica. O procedimento consiste na utilização de um balão como molde e impregnação manual da resina em tecido de juta.



Figura 39 - (a) Enrolamento filamental com fibra de sisal, (b) Impregnação manual de um reservatório de juta e resina melamínica na Guatemala, (c) Reservatório de juta finalizado (FAO, 2013)

Outra aplicação da fibra de sisal é realizada recorrendo a fibras de sisal e óleo de caju (CNSL¹⁴). Neste compósito são utilizadas fibras de sisal tratadas quimicamente pelo processo de mercenização. O CNSL é alterado com formaldeído para obtenção de uma resina termoendurecível (Bisanda & Ansell, 1992). Este material foi utilizado para produção de placas de compósito de forma plana e também ondulada. O compósito pode ser utilizado para infraestruturas de baixo-custo, apesar das propriedades mecânicas do compósito não serem tão robustas como outros materiais convencionais.



Figura 40 - Compósito de sisal e CNSL (Bisanda & Ansell, 1992)

¹⁴ Cashew Nut Shell Liquid



Figura 41 - Equipamento de rotomoldagem de acionamento alternativo (DesignBoom, 2009)

Uma possível alternativa para uma forma apropriada de processar materiais compósitos, em ambiente rural, pode residir na rotomoldagem, através de um equipamento semelhante ao ilustrado na Figura 41. O princípio de funcionamento desta técnica consiste, sucintamente, na rotação de dois eixos em simultâneo. Numa das esquadrias, encontra-se preso, através de elásticos, o molde no qual se encontra a resina ou material compósito. Este procedimento encontra-se, naturalmente, condicionado pelo tipo de materiais que permite utilizar, e pelo tamanho das peças que permite construir, possuindo a vantagem de permitir geometrias relativamente complexas (Figura 42).

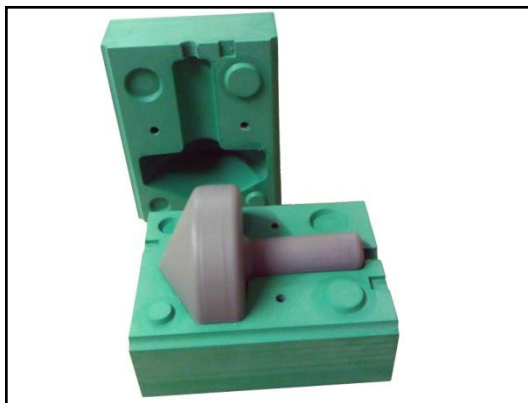


Figura 42 - Exemplo de uma peça produzida através de rotomoldagem manual (DesignBoom, 2009)

3. DESENVOLVIMENTO DO CONCEITO

3.1. Geração do conceito

Neste capítulo pretende-se desenvolver uma solução para a extração, armazenamento e distribuição de água. Um dos aspeto crucial desta solução é a sua sustentabilidade de a garantia de utilização de tecnologias apropriadas. De forma a responder a esta desafio, há um número de especificações que devem ser respeitadas, tais como:

- 1) Fácil execução e manutenção – O sistema deve ser simples de forma que qualquer utilizador possa executá-lo. Na eventualidade de algum componente do sistema se danificar, o utilizador deve ser capaz de substituí-lo. Os componentes do sistema devem ser de fácil aquisição;
- 2) Adaptabilidade de solução construtiva – A solução é a mais apropriada mediante as condições do local (topografia e hábitos da comunidade);
- 3) Durabilidade;
- 4) Baixo custo;

O desenvolvimento do conceito passa pela seleção do tipo de resposta a dar ao problema. Para o efeito, inicialmente é necessário comparar as diferentes soluções alternativas e estabelecer um critério de decisão para alcançar a melhor resposta às especificações do utilizador. Na Tabela 15 apresenta-se a matriz de decisão que levou à seleção da alternativa mais apropriada em cada situação.

Tabela 15 - Especificações e métricas ((Petersen, 2006), (RWSN, 2013), (EWB, 2009))

		Fácil execução e manutenção	Adaptabilidade de solução construtiva	Durabilidade	Baixo custo
SISTEMA DE EXTRAÇÃO	Bomba de corda	++	++	++	+++
	Bomba de êmbolo	++	+	++	++
	Bomba rower	+	+	++	+
SISTEMA DE ARMAZENAMENTO	Barragens	+	+	+++	+++
	Reservatório	+++	+++	+++	+
SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	Sistema de irrigação gota-a-gota	++	++	+++	+++
	Sistema de irrigação por aspersão	+	+	+++	+

Legenda: + pouco, ++ médio, +++ muito

A solução consiste, portanto, na extração de água por meio de uma bomba de corda, armazenamento em reservatórios e distribuição por meio de um sistema de rega gota-a-gota.

A bomba de corda é uma solução muito utilizada em Moçambique, principalmente no Norte do país (Baumann, 2011). A proveniência da água é o rio Chefu. O uso de sistemas de gotejamento tem sido incentivado na Província de Gaza e tem mostrado resultados muito favoráveis no aumento da produtividade das hortas da região de Chokwè, uma cidade situada a cerca de 300 km de Malonguete (Tamele, 2007).

O projeto inicia-se pelo dimensionamento do sistema de irrigação, que ditará as necessidades de água diárias e, por consequência, determinará as dimensões dos reservatórios e a capacidade do sistema de extração.

3.2. Dimensionamento do sistema de irrigação gota-a-gota

Descrição do funcionamento

O princípio de funcionamento de um sistema de rega gota-a-gota é a descarga localizada de quantidades de água controladas na zona da raiz da planta. Os sistemas de gotejamento podem ter várias formas e tamanhos e podem utilizar diversos acessórios para melhorar o seu desempenho.

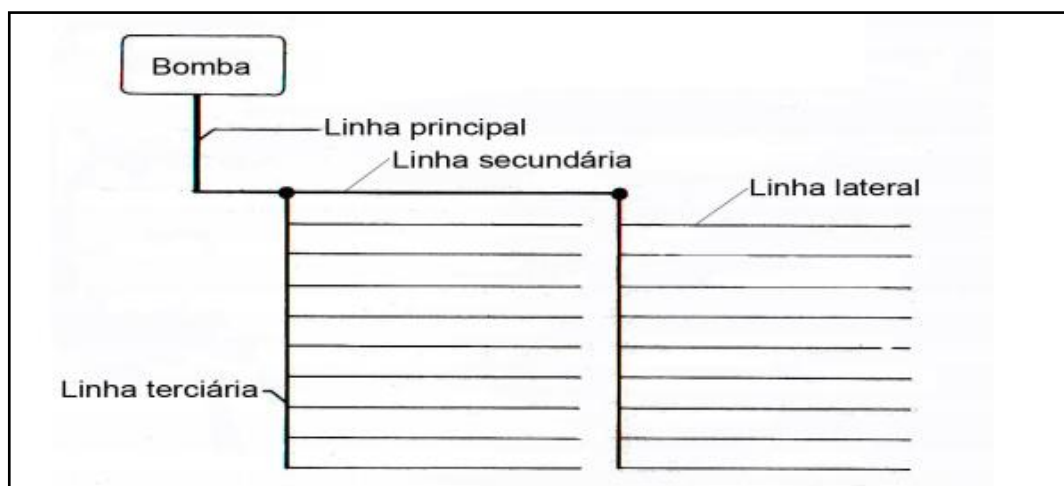


Figura 43 - Sistema típico de irrigação por gotejamento (Yague, 1996)

Num sistema de baixo custo, um cenário possível é a utilização de gravidade para obtenção de pressão no sistema, diminuindo assim o custo e as dificuldades associadas à utilização de uma bomba.

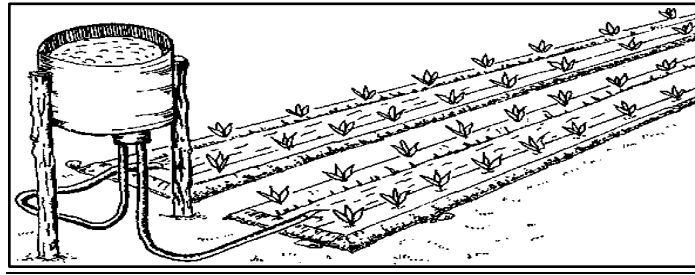


Figura 44 - Esquema de sistema de irrigação gota-a-gota de baixo custo

Dado que se pretende um sistema eficiente e de baixo custo, pode-se reduzir o número de linhas do sistema, criando *módulos de irrigação*. A cada módulo de irrigação está associado um reservatório e, nesse caso, são apenas necessárias dois tipos de linhas: a linha principal (tubo de ligação ao reservatório) e linhas laterais, onde estão colocados os gotejadores ou emissores. A opção modular tem a vantagem de poder utilizar quantidades de fertilizante apropriadas a cada espécie.

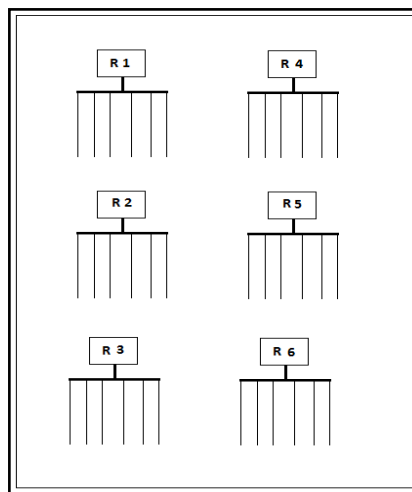


Figura 45 – Módulos de irrigação gota-a-gota

Um aspeto crucial no dimensionamento deste sistema é a questão da perda de carga admissível de modo que a água chegue ao último gotejador de cada linha lateral. Por esse motivo, o dimensionamento do sistema inicia-se com a seleção de um gotejador adequado. A escolha do gotejador é função do tipo de cultura, necessidade de água, tempo de operação, tipo de solo e qualidade da água. Posteriormente é escolhido o comprimento e diâmetro das linhas laterais e por fim o tamanho da linha principal.

O sistema deve ser projetado de forma que o caudal mínimo seja sempre o mesmo. A linha principal é, então, planeada para conectar todas as laterais pelo caminho mais curto possível.

Dependendo do caudal e da qualidade da água, deve-se escolher um sistema de filtragem apropriado. A quantidade total de componentes é calculada a partir do *layout* definido para preparar uma estimativa de custo.

Cada módulo tem um reservatório, sistema de tubagens e acessórios, variando apenas o tempo que estará acionado (Figura 45). Por outras palavras, o dimensionamento hidráulico será efetuado para ser o mesmo para todas as espécies, sendo que a única diferença entre módulos é o tempo de operação de cada conjunto.

3.2.1. Dimensionamento agrónomo

Culturas selecionadas e quantidade de água necessária

Como referido anteriormente, para efetuar o dimensionamento do sistema de irrigação é necessário estabelecer quais as espécies a cultivar, uma vez que cada espécie tem diferentes necessidades de água. As plantas absorvem a humidade do solo e transpiram durante o processo de fotossíntese. Determinada quantidade de água é retida no tecido da planta e o resto da humidade do solo evapora-se para a atmosfera. A irrigação por gotejamento envolve a aplicação frequente de água, por vezes diariamente. A necessidade de água diária da planta é equivalente à taxa de evapotranspiração potencial por dia. Evapotranspiração é a quantidade de água transpirada pelas plantas mais a quantidade de água retida no tecido vegetal e a água evaporada da superfície do solo (iDE, 2003).

Para que se possa determinar a quantidade de água para cada plantação é necessário fixar algumas dimensões tais como a área disponível para o cultivo de cada espécie, o espaçamento entre plantas e o espaçamento entre linhas laterais a fim de poder ter uma estimativa do número de plantas que se pretende irrigar e, portanto, da quantidade de água total necessária. Para uma produção ótima, o espaçamento deveria ser apropriado a cada espécie, contudo, dado o âmbito desta dissertação estabeleceram-se valores únicos e previamente utilizados no dimensionamento de hortícolas regadas por gotejamento (consultar ANEXO B). Na Tabela 16 apresentam-se os valores estabelecidos e na Tabela 17 reúne-se a informação acerca das necessidades de rega diária das culturas referidas, concluindo-se que diariamente são necessários cerca de 2331 litros para irrigar os seis módulos para as culturas selecionadas.

Tabela 16 – Considerações iniciais no sistema de irrigação para cada espécie de planta

Área [m ²]	Espaçamento por planta [mm]	Espaçamento por lateral [mm]	Número de plantas na área selecionada	Número de plantas/m ²
80	500	500	320	4

Tabela 17 - Necessidades de rega das culturas selecionadas (adaptado de (Tamele, 2007))¹⁵

Cultura	Necessidade de água (NA) [mm/dia/planta]	Necessidade de água (NA) [litros/dia/planta] ¹⁶	Necessidade de água (NA) por 80 m ² [litros]
Tomate	5,01	1,2525 ¹⁷	400,8
Alface	5,85	1,4625	468
Feijão-verde	3,5	0,875	280
Batata	4,48	1,12	358,4
Batata doce	6,8	1,7	544
Repolho	3,5	0,875	280
		Total	2331 litros

Tempo de operação (TO)

$TO = \frac{NA}{TA}$

Equação 5 - Cálculo do tempo de operação

Onde:

TO, Tempo de operação (horas/dia)

NA, Necessidade de água (litros/dia)

TA, Taxa de aplicação, isto é, caudal do gotejador (litros/hora)

A taxa de aplicação é determinada mediante o uso do gotejador. O caudal destes emissores depende da altura do reservatório e das suas dimensões. Assim sendo, torna-se necessário definir uma cota para o reservatório, escolhida mediante a consulta do manual da iDE (iDE, 2003). A Tabela 18 reúne as referidas especificações.

¹⁵ No ANEXO C podem ser consultados os elementos que levaram a escolha das espécies apresentadas.

¹⁶ 1 mm = 10000L/ha = L/m²

¹⁷ 5,01mm = 5,01L/m², dividindo pelo número de plantas por m² obtém-se a quantidade água necessária por planta: 5,01/4 = 1,25025.



Figura 46 - Microtubo de polietileno

Tabela 18 – Especificações do emissor selecionado (ANEXO B, (iDE, 2003))

Tipo de gotejador	Altura do reservatório (m)	Comprimento do microtubo (m)	TA do gotejador, Q_e (l/h)
Microtubo de PE	1	0,45	3,23

Tabela 19 - Período de irrigação para as diferentes culturas

Cultura	Quantidade de água necessária (litros/dia/planta)	TO (minutos/dia)
Tomate	2,505	47
Alface	2,925	54
Feijão-verde	1,75	33
Batata	2,24	41
Batata doce	3,4	63
Repolho	1,75	33

3.2.2. Dimensionamento hidráulico

A bibliografia sugere que, para o sucesso no cultivo das plantas, a perda de carga do sistema deve estar situada entre 10 a 20% da pressão do sistema (1 mca) (Yague, 1996). A perda de carga varia com os diâmetros e comprimentos das linhas, a rugosidade dos tubos, com a altura a que o reservatório se encontra e inclinação do terreno. Para efetuar o dimensionamento seguiu-se o manual de dimensionamento da iDE (iDE, 2003). A confirmação dos valores de perdas de carga permissíveis foi efetuada pela equação de Hazen-Williams¹⁸. O material considerado foi o polietileno.

¹⁸ Fórmula empírica desenvolvida Engenheiro Civil Allen Hazen e pelo Professor de Hidráulica Garden Williams, entre 1902 e 1905. Por não ter origem em fundamentos analíticos, os resultados são limitados e só devem ser utilizadas em condições que se assemelhem às de sua origem. A equação apropria-se a escoamentos em tubos de diâmetros compreendidos entre 10 a 3000 mm, para velocidades de escoamento inferiores a 3 ms^{-1} .

Linhas laterais

Na maior parte dos sistemas de gotejamento são usadas laterais de polietileno de baixa densidade com diâmetros compreendidos entre os 12 mm e os 16 mm.

Um ponto importante a considerar ao projetar o tubo lateral é a inclinação do terreno. Se a inclinação média do campo de cultivo é menor do que 3% as laterais podem situar-se ao longo do declive. No entanto, se a inclinação do campo é superior a 3% as laterais devem ser colocadas na direção transversal (Yague, 1996).

O cálculo da perda de carga pode ser efetuado de diversas formas. Neste caso foi utilizada a equação de Hazen-Williams.

$$H_f = 10,67 \frac{L_L Q^{1,85}}{C^{1,85} D_i^{4,87}}$$

Equação 6 – Equação de Hazen-Williams

Onde:

H_f , perda de carga (m)

Q , descarga total das laterais (m^3/s)

L_L , comprimento da lateral (m)

D_i , diâmetro interior (m)

C , fator de Hazen-Williams¹⁹

Para estabelecer o comprimento da linha lateral é necessário calcular o parâmetro *Lateral SDR (Specific Discharge Rate)*, que se trata da taxa de descarga específica na lateral.

$$Lateral\ SDR = \frac{Caudal\ do\ emissor}{Espaçamento\ entre\ plantas} = \frac{3,23}{0,5} = 6,46\ l/mh$$

Equação 7 - Cálculo da taxa de descarga específica na lateral

Mediante a consulta da Tabela 20, e tendo em conta a altura previamente estabelecida para o reservatório (ver Tabela 18) concluí-se que o comprimento adequado para as linhas laterais é de 20 metros.

¹⁹ Fator de Hazen-Williams utilizado foi $C=150$ (polietileno)

Tabela 20 – Comprimento de tubos de linhas laterais 14 e 16 mm de diâmetro, em metros (Adaptado de (iDE, 2003))

Lateral SDR (l/hm)	Altura do reservatório					
	1m		2m		3m	
	14 mm	16 mm	14 mm	16 mm	14 mm	16 mm
4	25	30	30	40	35	40
6	15	20	20	25	25	30
10	10	12	12	15	15	20

Linhas principais

O dimensionamento da linha principal segue o mesmo princípio do dimensionamento das linhas laterais: escolha do diâmetro e comprimento da linha e cálculo da perda de carga. Calculou-se o parâmetro *taxa de descarga* para a linha principal e foi consultada a Tabela 21 para determinação do comprimento da linha principal, L_p .

$$Principal\ SDR = \frac{lateral\ SDR \times L_L}{R} = \frac{Caudal\ linha\ principal}{L_p} = 258,4\ l/hm$$

Equação 8 - Cálculo da taxa de descarga específica na linha principal

Onde:

R , Distância entre duas linhas laterais

L_p , Comprimento da linha principal

$$Caudal\ na\ linha\ principal = 1033,6\ l/h = 0,287\ l/s$$

Tabela 21 – Comprimento de tubos das linhas principais de 32 a 48mm de diâmetro (em metros)

Principal SDR (l/hm)	Altura do reservatório					
	1 m		2 m		3m	
	32 mm	48 mm	32 mm	48 mm	32 mm	48 mm
150	7	10	10	15	15	20
300	4	7	6	10	13	17

A Tabela 22 apresenta os dados obtidos para o dimensionamento de um módulo de irrigação.

Tabela 22 - Resultado do dimensionamento hidráulico

Pressão mínima do sistema	1 mca
Espaçamento entre plantas (L_e)	0,5 m
Caudal do emissor (Q_e)	3,23 l/h
Diâmetro interno tubagem principal (D_P)	32 mm
Diâmetro interno tubagem lateral (D_L)	16 mm
Caudal na linha principal (Q_L)	0,287 l/s
Descarga total nas laterais (Q)	129,2 l/h
Comprimento das linhas laterais (L_L)	20 m
Comprimento da linha principal (L_P)	4 m
Velocidade do escoamento ($\phi=32\text{mm}$)	$0,36 \text{ ms}^{-1}$
Velocidade do escoamento ($\phi=16\text{mm}$)	$1,43 \text{ ms}^{-1}$
Perda de carga na linha principal (H_{fP})	0.021 m
Perda de carga na linha lateral (H_{fL})	0.066 m
Perda de carga total ($H_{fL} + H_{fP}$)	$0.021 + 0.066 = \mathbf{0.086 \text{ m}}$

O valor da perda de carga total no sistema é inferior a 10% da pressão mínima (0,1 mca), valor recomendado para o sucesso no cultivo das plantas.

Filtros

A filtragem é uma parte essencial do sistema de irrigação por gotejamento, uma vez que um dos principais problemas associados a este tipo de solução está relacionado com o entupimento das linhas laterais.

Existem diferentes tipos de filtros, contudo as alternativas mais económicas são os filtros de malha (plástico ou metal), adequados para águas com leves purezas inorgânicas e filtros de areia, utilizados para águas com partículas orgânicas ou algas.

Geralmente os filtros são colocados imediatamente após a válvula. Toda a água colocada no reservatório será gasta em menos de 24 horas, podendo-se considerar que praticamente não se verifica armazenamento. Deste modo, de forma a evitar aumentos na perda de carga, decidiu-se filtrar a água antes de colocá-la no reservatório, contrariamente ao que é implementado num sistema convencional.

3.2.3. Planeamento do espaço

Definidas as dimensões dos módulos deve-se proceder ao planeamento do espaço. A Figura 47 mostra esquematicamente a área da horta e a disposição do conjunto de módulos de irrigação.

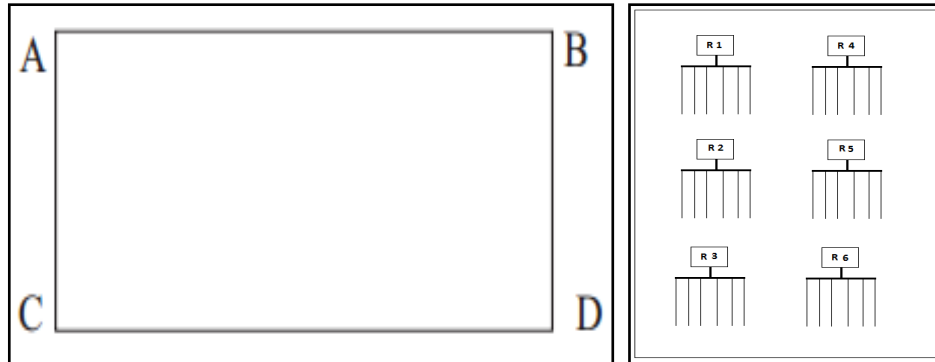


Figura 47 - Esquema da horta

A Tabela 23 apresenta os parâmetros relativos à horta comunitária de Malonguete.

Tabela 23 – Parâmetros para o planeamento da horta

Distâncias entre cantos	AB = 150 m AC = 90 m
Inclinação do terreno	Cerca de 1% A inclinação do terreno deve ser tida em conta e acertos devem ser feitos no momento da instalação caso se notem declives diferentes dos do projeto.
Módulos de irrigação	Existem diversas alternativas para o desenho de um sistema de irrigação. Para este projeto decidiu-se que a melhor alternativa é a realização de módulos de irrigação para cada espécie que se pretende cultivar. Cada módulo tem um reservatório, sistema de tubagens e acessórios. Deste modo, as dimensões do sistema são as mesmas para todos os módulos, residindo a única diferença no tempo de irrigação, ie, o tempo de funcionamento de cada conjunto. Esta alternativa tem como vantagens a homogeneização dos produtos necessários à montagem do sistema e a capacidade de utilizar a quantidade de fertilizante adequada a cada espécie.
Água	POSIÇÃO DO RESERVATÓRIO O(s) reservatório(s) deve(m) ser posicionados de forma a que o fluxo no sistema de laterais seja no sentido do declive. A linha AB (Figura 47) corresponde ao conjunto de pontos mais elevados da horta. O declive do terreno está orientado segundo as linhas AC e BD. DIMENSÕES DO RESERVATÓRIO De acordo com os cálculos efetuados verifica-se que a espécie mais exigente necessita de aproximadamente 544 litros/dia. Assim estabeleceu-se o tamanho para o reservatório de 1x1x1 [m], colocado numa estrutura a um metro do solo. PROVENIÊNCIA DA ÁGUA

	<p>A proveniência da água é um assunto a ser averiguado localmente, com especialistas da área. Após descoberto o local, deve ser construído um poço, tão largo quanto possível, ou reabilitado um poço existente.</p> <p>A extração da água é efetuada por meio de uma bomba de corda e o abastecimento dos reservatórios é efetuado manualmente.</p>
Detalhes agrónomos	<p>ESPÉCIES APROPRIADAS</p> <p>Mapira, mexoeira, milho, feijão nhemba, feijão-verde, amendoim, abóboras, melancia, batata, batata-doce, mandioca, tomate, couve, repolho, cebola, alface;</p> <p>DETALHES AGRÓNOMOS DAS PLANTAS</p> <p>Distância entre plantas: 50 [cm] Distância entre linhas: 50 [cm] Número por plantas por linha: 40 plantas Número de linhas por módulo: 8 linhas Número de plantas por módulo: 320 plantas</p>
Outros detalhes relevantes	<p>A horta é comunitária e pertencem à associação cerca de 60 responsáveis. Assumindo a média de seis pessoas num agregado familiar, prevê-se que 360 pessoas estejam associadas à horta comunitária.</p>

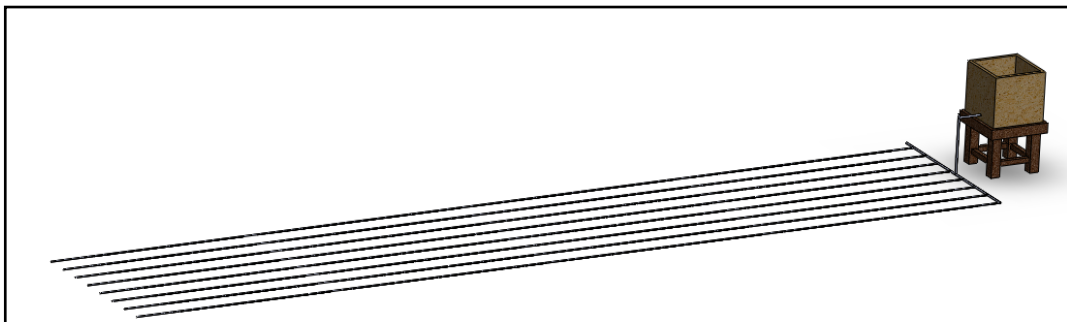


Figura 48 - Protótipo de sistema de irrigação no local

3.3. Dimensionamento da bomba de corda

A bomba de corda tem um funcionamento simples: a água é extraída através da rotação de uma roda que faz girar uma corda com vedantes. O espaço entre os vedantes transporta uma coluna de água que vai sendo transportada gradualmente para o reservatório. De acordo com o dimensionamento agrónomo efetuado são necessários 2331 litros por dia.

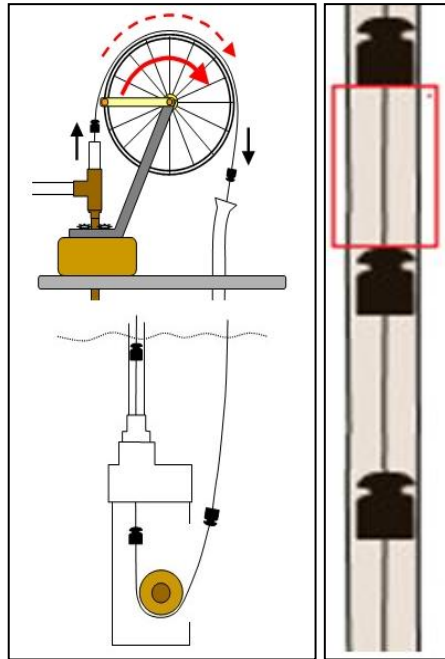


Figura 49 - Funcionamento da bomba de corda, detalhe para espaçamento entre vedantes

A montagem deste equipamento pressupõe a existência de um poço funcional. Segundo os relatórios da EpDAH, em Agosto de 2012 a profundidade a que se encontrava água no leito do Rio Chefu era de cerca de 5m. De acordo com o observado no local, e, de forma, a garantir o funcionamento do equipamento optou-se por utilizar 10 metros como estimativa para a profundidade de . Através da consulta da Tabela 24 define-se o valor do diâmetro interno do tubo.

Tabela 24 - Diâmetro das tubagens de acordo com a profundidade do poço (Erpf, 2005)

Gamas de bombeamento	0 - 6m	0 - 10m	10 - 20m	20 - 30m
Diâmetro do tubo principal (de elevação)	50 mm	32 mm	25 mm	20 mm

Como referido anteriormente, a bomba de corda pode ser acionada de diferentes formas. Uma vez que um adulto normal é capaz de exercer mais força através de acionamento por pedal, do que manualmente, este foi o tipo de acionamento escolhido.

Dez metros de coluna de água, no tubo seleccionado, correspondem a uma massa de aproximadamente 8kg. Considerou-se que o conjunto de vedantes numa coluna de água provoca um atrito correspondente a 3kg.

Segundo a bibliografia, um adulto normal é capaz de alcançar velocidades de 60-80 RPM, exercendo uma força equivalente a metade do seu peso próprio. Para calcular o tempo necessário para extrair 2331 litros de água optou-se por utilizar o valor de 40 RPM.

Tabela 25 - Especificações da bomba de corda

Peso médio do pedalador	60kg
Força média exercida pelo pedalador	294 N
Distância até ao nível superior da água no poço	10 metros
Distância entre vedantes	150 mm
Diâmetro da roda	560 mm
Diâmetro do tubo	32 mm
Volume de água/rotação	1,4 litros
Força necessária para puxar a coluna de água (peso da coluna de água e força de atrito)	107,8 N
TEMPO PARA EXTRAIR 2331 LITROS	42 minutos

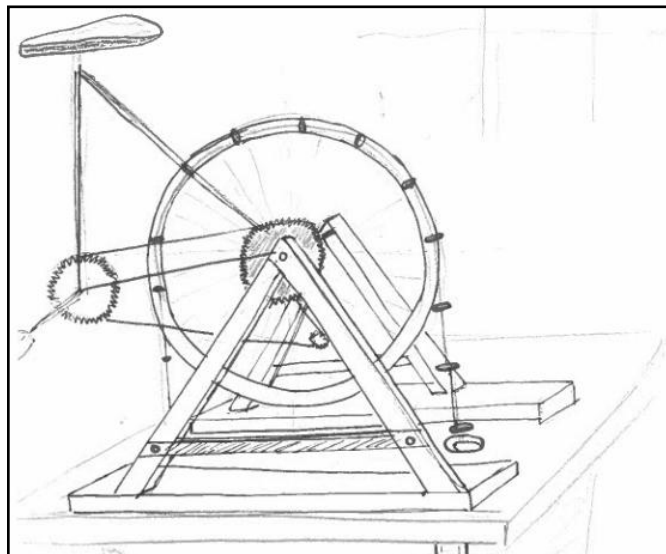


Figura 50 - Esboço de uma bomba de corda acionada com recurso a uma bicicleta

3.4. Custos

A Tabela 26 e Tabela 27 apresentam a lista de materiais necessários à instalação do sistema de irrigação e os custos associados.



Figura 51 - Acessórios necessários para o sistema de irrigação

Tabela 26 - Itens necessários para a montagem de um módulo de irrigação

Material		Quantidade
Tubo de PE (d=16 mm, L= 20 m)		8
Tubo de PE (d=32 mm, L= 4 m)		1
Conectores	Conector 90° (16x16mm)	2
	Conector 90° (32x32mm)	1
	Conector T redutor (32x16mm)	6
	Conector T (32x32mm)	1
Filtro		1
Gotejadores		320
Válvula		1
Reservatório		1

Tabela 27 – Lista de principais componentes e custo dos sistemas de extração e irrigação (Adaptado de(Tamele, 2007), (iDE, 2003), (RopePumpOrg, 2013) e catálogo de materiais de canalização)

		Material	Custo (em meticais)	Quantidade	Preço total (Meticais)
SISTEMA DE IRRIGAÇÃO	Tubo de PE (d=16 mm, L= 20 m)		130	8 x 6	6240
	Tubo de PE (d= 32 mm, L=4 m)		60	1 x 6	360
	Conectores	Conector 90º (16x16mm)	12	1 x 6	72
		Conector 90º (32x32mm)	6	1 x 6	36
		Conector T redutor (32x16mm)	6	6 x 6	216
		Conector T (32x32mm)	6	1 x 6	36
	Filtro		130	1 x 6	780
	Gotejador		5	320 x 6	9600
	Válvula		55	1 x 6	330
	Reservatório		400	1 x 6	2400
CUSTO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO					20070

SISTEMA DE EXTRAÇÃO	Tubo de PVC (d= 32 mm, L= 15m)	600	1	600
	Corda de nylon (d=3 mm, L=30 m)	1400/kg (80 metros)	1	1400
	Roda de bicicleta	n.d.	1	Disponível no local
	Anilhas de borracha (d= 32 mm)	n.d.	150	~ 100
	Anilhas (d=2 mm)	n.d.	300	~ 120
	Roldana	200	1	200
	Abraçadeiras	11/unidade	60	66
	Suporte de madeira	n.d.	n.d.	Disponível no local
CUSTO SISTEMA DE EXTRAÇÃO				2486
TOTAL				22556 Meticais (564 euros)

1 Eur. ~ 40 Meticais

A horta comunitária de Malonguete pertence a uma associação, funcionando num regime similar a uma cooperativa. A associação tem 60 membros, pelo que, em média, o sistema dimensionado custa 376 meticais (9,4 euros) por membro.

No cenário de Malonguete, onde a comunidade praticamente não tem fontes de rendimento, o investimento inicial é muito elevado, sendo que, sem recorrer a ajuda externa, seja governamental ou não, é de difícil realização. Assim sendo, com o objetivo de reduzir o custo do sistema, serão estudadas alternativas para os componentes mais dispendiosos do sistema: tubos, reservatório e gotejadores.

4. MATERIAIS DISPONÍVEIS

A exploração do potencial de materiais disponíveis localmente para a criação de um material compósito é um dos objetivos deste projeto. Alguns dos materiais disponíveis são a fibra natural de sisal, o polímero de origem vegetal colofónia e particulados (areias).

Em Moçambique, particularmente na Província de Manica situada a 100 km de Malonguete, existem pinhais, havendo potencial de extração de colofónia. O sisal é uma planta adequada ao clima local, existindo em algumas zonas do país experiência e infraestrutura para a extração da fibra. A areia, por sua vez, é um material amplamente disponível em Malonguete, sendo que a sua utilização não acarreta custos.

A possibilidade de obtenção destes três materiais foi também tida em conta de maneira que pudessem ser realizados trabalhos experimentais no sentido de estudar a criação de um compósito. A fibra de sisal foi cedida pela empresa Cruz&Cruz e a resina colofónia pela empresa EuroChemicals S.A., a areia foi recolhida em Malonguete.

Neste capítulo é então efetuada uma descrição dos materiais, nomeadamente da fibra de sisal e da resina colofónia, no sentido de compreender os processos de extração, aplicações e outros aspetos relevantes considerando a índole do projeto.

4.1. Sisal

O sisal, *Agave Sisalana*, é uma planta nativa do México, produzida para fins comerciais maioritariamente no Brasil e na África Oriental. A atividade de agricultura é relativamente simples, uma vez que a planta é resistente, capaz de sobreviver a condições extremas de seca, e poucas doenças a afetam, diminuindo a necessidade de pesticidas. Em termos de produção não é restrita, podendo ser plantada e colhida durante todo o ano. A planta pode ser colhida a partir de dois anos após o plantio e sua vida produtiva pode chegar até 12 anos, produzindo 180-240 folhas por ciclo, dependendo da localização, altitude, nível de chuvas e variedade de planta. Cada folha contém cerca de 1000 fibras.

Extração da fibra

As fibras que estão dispostas longitudinalmente nas folhas, mais abundantemente perto das superfícies da folha. A remoção ocorre a partir das folhas, logo que são cortadas de modo a evitar o risco de danos durante o processo de limpeza.

A extração das fibras pode ser realizada manualmente por meio de raspadores, à semelhança do que é feito no Brasil em meios rurais, biologicamente, mergulhando as folhas em água, quimicamente, utilizando ácidos, bases ou enzimas ou mecanicamente através de máquinas desfibradoras.

Manualmente o processo consiste na remoção da casca da folha, segue a operação de bater para remover a polpa e a raspagem (corte) para separação das fibras. As fibras devem então ser mergulhadas em água e lavadas. O processo de secagem decorre por 24 horas. Mecanicamente, uma máquina desfibradora consiste num cilindro batedor, que quando acionado raspa e corta a superfície exterior da fibra Figura 53.

O rendimento médio de fibras secas é de cerca de uma ton/ha, embora na África Oriental possa chegar a quatro ton/ha.



Figura 52 - Diferentes fases da extração manual do sisal, da esquerda para a direita: Transporte das folhas, Corte manual das folhas, desfibração, lavagem das fibras

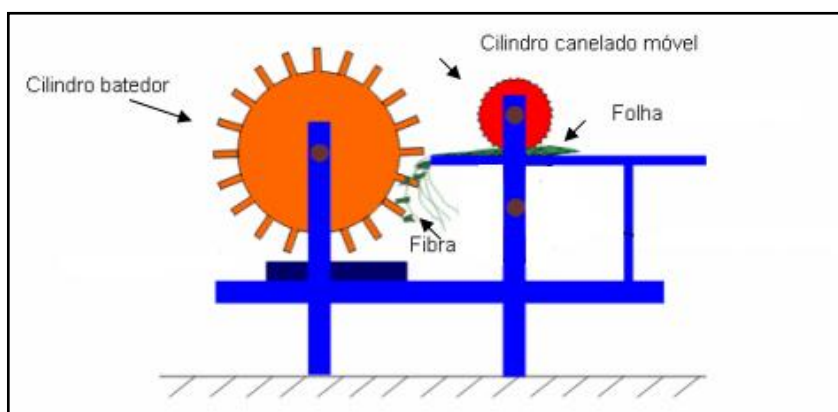


Figura 53 - Esquema de uma desfibradora

Benefícios ambientais

Ao longo de seu ciclo de vida, o sisal absorve mais quantidade de dióxido de carbono do que a que produz (FAO, 2013). Durante o processamento gera principalmente resíduos orgânicos e os resíduos das folhas podem ser usados para produção de alimentos para animais, geração de bioenergia, e fertilizantes. Outra vantagem da utilização do sisal reside na capacidade de redução da erosão do solo através do seu sistema radicular extenso, contribuindo positivamente para a gestão de bacias hidrográficas. As plantas de sisal são utilizadas como barreiras/cercas vegetativas para proteger as culturas, terras e florestas de animais predadores e invasores.

Aplicações

O sisal tem aplicações tradicionais em cordéis, cordas e fios. A concorrência de produtos sintéticos nesta área enfraqueceu a procura por sisal nestas aplicações tradicionais, contudo o sisal produzido na África Oriental, nomeadamente na Tanzânia e Quênia, é considerado de excelente qualidade sendo produzido e exportado para mercados internacionais para a produção de carpetes, tapetes, e vários artesanatos.

A elevada concentração de celulose torna a polpa do sisal atrativa como um substituto para fibras de madeira na indústria de papel. Dada a sua porosidade, pode ser usado em filtros de papel de cigarro e outras aplicações como sacos de chá.

Em materiais compósitos, o sisal tem vindo cada vez mais a ser utilizado como reforço de polímeros para aplicações em automóveis, barcos, móveis, caixas d'água e tubulações. Tem também aplicações na construção civil, sendo usado para aumentar resistência em misturas de cimento para o desenvolvimento de habitações de baixo custo.

A fibra extraída representa apenas cerca de 2% da planta, sendo que os restantes subprodutos da extração de sisal podem ser usados para produção de biogás, ingredientes farmacêuticos e material de construção. Para explorar o valor económico desse material, estimado no valor de cerca de 15 milhões de toneladas por ano, a UNIDO financiou a indústria de sisal da Tanzânia num projeto comercial para utilizar resíduos de sisal para a produção de biogás e de fertilizantes. A avaliação contínua da planta indica que 75% da energia produzida poderia ser distribuída para as casas rurais e 25% utilizados no processamento do sisal (FAO, 2013).

Produção e comércio

O Sisal é plantado para extração de fibra nos seguintes países: Angola, Brasil, China, Cuba, Haiti, Indonésia, Quênia, Madagascar, Moçambique, México, África do Sul. Tanzânia e Tailândia.

Na Tanzânia e no Quênia o sisal é cultivado em grande escala para exportação, enquanto que a produção no Brasil numa considerável parte da produção é de pequena escala. A produção mundial de sisal é estimada em cerca de 300000 toneladas, no valor de \$56,55 milhões de euros. Os principais produtores são o Brasil (120000 ton), Tanzânia (30000 ton) e Quênia (25000 ton). O Brasil exporta cerca de 100000 toneladas de fibra bruta e de bens manufaturados, em especial de corda para os EUA. No Quênia, as exportações rondam as 20000 ton e na Tanzânia 15000 ton. A China é também um grande produtor e consumidor.

O aumento na procura da fibra de sisal em mercados não tradicionais indica que este é cada vez mais reconhecido como um material valioso e de uso diversificado. Reconhecendo este valor, alguns estudos têm sido realizados no sentido de descobrir novas aplicações para o sisal, principalmente para os subprodutos da extração da fibra. Alguns exemplos de projetos a decorrer são a *Utilização Integral de Resíduos Sisal do biogás e biofertilizantes* e *Avaliação Preliminar de Viabilidade de Utilização de Resíduos Sisal líquido para a produção de pesticidas e medicamentos veterinários* (ARC, 2006). Existem também projetos financiados pelo governo alemão que visam aumentar as oportunidades comerciais para as fibras de sisal em Moçambique, Haiti e Tanzânia.

4.2. Resina de colofónia

A resina de colofónia trata-se de um tipo de resina de origem vegetal que se obtém a partir de várias espécies vegetais da família das *Pinaceae*.

Portugal já foi o maior produtor de colofónia do mundo, atingindo a recolha de cerca de 140000 toneladas em 1978. Na década de 70, a colofónia estava cotada no valor de 3000 dólares por tonelada, baixando para 500 dólares em 2004 com a entrada da China no mercado.

Extração

A obtenção de colofónia pode ser efetuada de três formas: 1) a partir de secreções obtidas das incisões praticadas nos caules das árvores, que são em seguida devidamente tratadas, 2) através de ramos e de troncos de madeira de pinho, sendo extraída por meio de solventes alifáticos de baixo ponto de ebulição e 3) na destilação fracionada do tall-oil, que é um subproduto da indústria da celulose.

No primeiro caso, o processamento denomina-se por sangramento ou resinagem. É o mais comum e tradicional em Portugal e consiste em realizar uma incisão na árvore através da qual é expelida uma secreção, a resina de pinheiro ou goma resina. Posteriormente é efetuada uma destilação à goma resina para extrair a terebentina, um óleo essencial, que se separa a temperaturas compreendidas entre os 100°C e os 160°C, restando a colofónia no estado fluído.

Propriedades físicas e químicas

A colofónia é constituída essencialmente por ácidos resínicos, de fórmula $C_{19}H_{29}COOH$. Estes ácidos são denominados por ácidos carboxílicos.

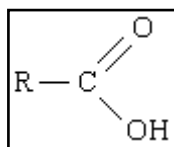


Figura 54 - Grupo funcional carboxila

À semelhança do que ocorre com as fibras naturais, também nas resinas de origem vegetal podem encontrar-se divergências nas propriedades físicas e químicas. Os fatores que podem influenciar e intervir nesta variabilidade são: 1) o clima e a zona de crescimento da planta, 2) a idade da planta e 3) o processo de obtenção da colofónia.

Por este motivo, a composição química da colofónia não é constante verificando-se variações nas quantidades relativas dos seus constituintes.

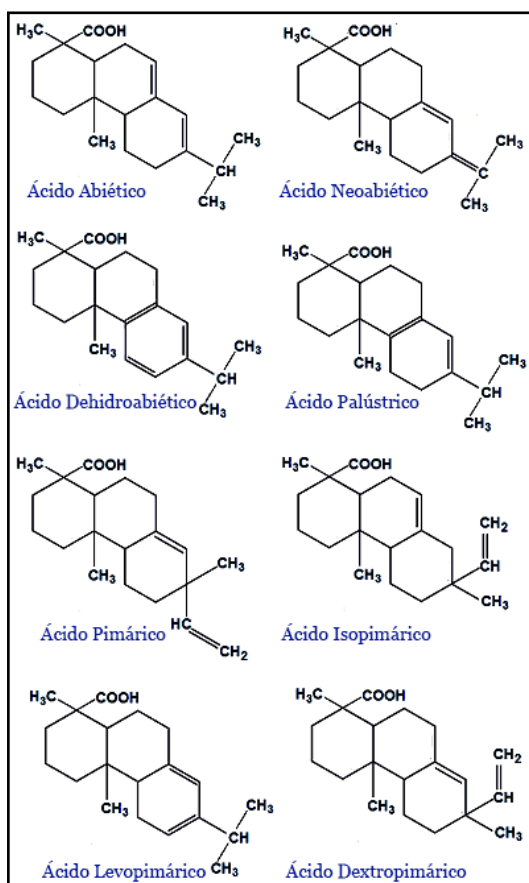


Figura 55 – Principais constituintes da resina colofônia

A cor da resina varia de acordo com a idade da árvore e de acordo com o grau de aquecimento na destilação. A gradação inicia-se num castanho escuro opaco, passando por diferentes graus de castanho e amarelo, podendo ter aparência de uma massa vítrea quase perfeitamente transparente. Relativamente ao grau de cor existem diversos tipos de colofônias comerciais desde a letra A, a mais escura, até à N, extra pálido, acima da qual está o W, *window glass*, e WW, *water white*. O tipo WW tem cerca de três vezes o valor das qualidades comuns (Caetano, 2011). À temperatura ambiente é muito frágil e facilmente transformada em pó.

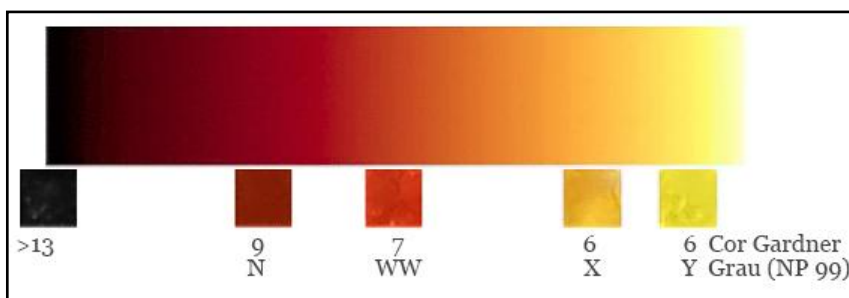


Figura 56 - Correspondência da cor Gardner com o grau da resina colofônia (Caetano, 2011)

Tabela 28 - Propriedades da resina colofónia fornecida pela Eurochemicals Portugal S.A.

Propriedades	Valor	Método
Cor	WW/WG	ASTM D509
Cor Gardner (50% toluene)	4/5	ASTM D1544
Ponto de amolecimento (R.B.)	70/71	ASTM E28
Ácido abiético (%)	0.2/1.0	U.V Method
Ácido dehidroabiético (%)	45/55	U.V. Method
Índice de acidez (mg KOH/g) ²⁰	160-163	ASTM D465
Estado físico (@25°C)	Sólido	-
Densidade	1.05 - 1.09 g/cm ³	-
Ponto de inflamação	< 200°C	-
Ponto de ebulição	> 200°C	-
Solubilidade	Insolúvel em água Solúvel em alcoóis, ésteres e terebentina Parcialmente solúvel em hidrocarbonetos alifáticos	-

Tabela 29 – Comparação de características químicas dos diferentes tipos de colofónia

Grau	X	WW	WG	N	M	K
Aparência	Transparência					
Ponto de amolecimento (R.B)	76°C (min)		75°C (min)		74°C (min)	
Acidez	166 min		165 min		n.d.	
Coeficiente de solubilidade em álcool ²¹	0,03% (máx)		0,03% (máx)		0,04% (máx)	

Solubilidade da resina

Após a resinagem do pinheiro a resina sofre uma destilação, da qual resultam dois produtos: colofónia e terebentina, um óleo essencial. A Tabela 28 revela que a colofónia é solúvel em alcoóis e em terebentina.

²⁰ Representa a massa de hidróxido de potássio necessária para a neutralizar uma grama de substância. O índice de acidez, ou número ácido, é uma medida da quantidade de grupos de ácidos carboxílicos num composto.

²¹ O índice de solubilidade, ou coeficiente de solubilidade expressa-se em mol/l, g/l ou em percentagem de soluto/solvente.

Recordando o princípio de solubilidade de Hildebrand (página 62) afirma que substâncias com parâmetros de solubilidade idênticos se dissolvem (*o semelhante dissolve o semelhante*). Nesse sentido, apresentam-se na, Tabela 30, alguns parâmetros de solubilidade para alcoóis e para o óleo essencial de terebentina.

Tabela 30 - Parâmetros de solubilidade de solventes da colofônia

Substância	Parâmetro de solubilidade, δ (Mpa ^{1/2})
Álcool metílico	29,7
Álcool etílico	26,2
Álcool isopropílico	18,0
Turpentina ou terebentina	16,6

Após tentativas de obter uma solução de resina colofônia com um álcool, concluiu-se que a resina é solúvel em álcool etílico e isopropílico, numa proporção de 50% de massa, podendo a percentagem de álcool ser reduzida. No caso do álcool metílico a resina não foi dissolvida. Deste modo pode-se afirmar, com base no princípio de Hildebrand que o parâmetro de solubilidade da resina se encontra entre 16,6 e 26,2 MPa^{1/2}.

Modificação química

Há diversos processos que podem modificar a resina colofônia alterando as suas propriedades químicas. Alguns exemplos relatados são a reação com anidrido maleico, anidrido fumárico e fenol, a esterificação, hidrogenação e dimerização (Caetano, 2011). Estes processos podem ser combinados em diferentes ordens obtendo-se naturalmente propriedades finais diferentes.

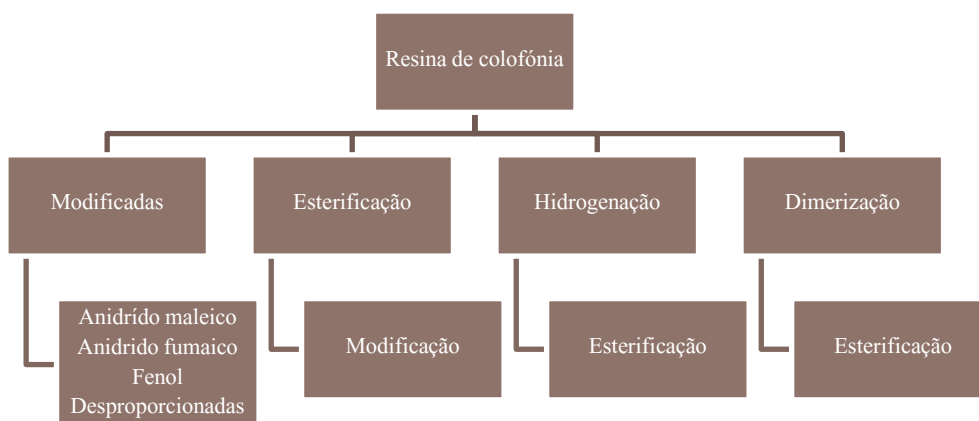


Figura 57 – Esquematização dos processos de alteração da resina de colofônia (Caetano, 2011)

Tabela 31 - Comparação entre propriedades da resina colofónia, resinas de colofónia portuguesas modificadas, e resinas colofónia portuguesas hidrogenadas, dimerizadas e esterificadas, (adaptado de (Caetano, 2011))

	Colofónia Portuguesa não modificada (EUROCHEMICALS)	Modificada com anidrido maleico	Desproporcionada	Hidrogenada		Dimerizada	Esterificada
				100% Hidrogenada	Parcialmente hidrogenada		
Densidade g/cm ³	1,05 - 1,09	1,01 - 1,05	1.05	n.d.	n.d.	1,065 - 1,07	1.06 – 1.07
Ponto de amolecimento (R.B.)	70-71	84 – 145	70 – 80	78	80	83 - 145	8 – 133
Cor Gardner (50% toluene)	4-5	3 – 9	6 – 11	1	5	4 - 12	1 – 7
Índice de acidez (mg KOH/g)	160-163	20 – 40	150 – 166	172	162	140 a 165	2 – 150
Índice de refração	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1,5	n.d.	n.d.

Aplicações

Existem diversas aplicações para a colofónia e produtos modificados da resina. Atualmente as principais aplicações são na indústria de sabonetes, tintas, borrachas, fósforos, plásticos e farmacêutica. É utilizada como emulsionante na produção de borrachas. A colofónia era um produto utilizado na calafetagem dos barcos de madeira, impermeabilização de cordas e lonas, funcionando, também, como combustível para tochas e inúmeras outras aplicações, principalmente as ligadas à indústria naval. É utilizada em instrumentos musicais de cordas, como violinos e violas, para diminuir o escorregamento das cordas. São também conhecidas aplicações na escultura.

Outras utilizações são produtos de papel, pinturas, plastificantes na borracha, produtos à prova de água, óleos de emulsão, óleos secantes²². Produtos modificados com anidrido maleico e fumárico são utilizados para formação de alquídicos²³.

²² Um óleo insaturado que endurece após um período de exposição ao ar. O óleo endurece devido a uma reação de oxigenação na qual os componentes se reticulam por ação do oxigênio e não por evaporação do solvente.

²³ Compostos resultantes da reação entre um álcool, um ácido carboxílico e um óleo secante. Como a reação entre um álcool e um ácido carboxílico gera um poliéster, a adição de um óleo secante transforma é uma modificação de um poliéster.

Produção e comércio

Atualmente o principal produtor de resina colofónia é a China, nas províncias de Guangdong, Guangxi, Fujian, Yunnan e Jiangxi. A colofónia chinesa é maioritariamente obtida através da terebentina de *Pinus massoniana* e *Pinus elliottii*. Os Estados Unidos são também um grande produtor de colofónia através de terebentina de *Pinus palustris* e *Pinus taeda*. No México, a maior parte da resina é derivada de *Pinus oocarpa*, *Pinus leiophylla*, *Pinus devoniana* e *Pinus montezumae*.

Na Europa, a zona francesa de Les Landes é grande produtora nos departamentos de Gironde e Landes, onde o pinheiro bravo *Pinus pinaster* é cultivado extensivamente. No norte da Europa, a resina é obtida a partir do *Pinus sylvestris*, e noutros países europeus, a partir de outras espécies de pinheiro, como *Pinus halepensis*, sendo particularmente importante na região do Mediterrâneo.

Em Portugal, a produção de resina de colofónia já alcançou, em tempos, valores de 140000 ton/ano, sendo que nos últimos anos a produção rondou as 4500 ton/ano. O tipo de colofónia produzida em Portugal encontra-se no intervalo de grau X e WW e é considerada como sendo uma das colofónias de melhores propriedades.

Em Portugal existiam 64 fábricas registadas para a destilação de resina e cerca de 20000 resineiros. Atualmente existem 6 fábricas em Portugal, empregando 40 operários fabris e cerca de 750 resineiros, muitos deles em part-time. Na década de 80 os maiores industriais de resinagem deslocaram-se para o Brasil onde instalaram fábricas prósperas e onde ainda hoje dominam mais de metade do mercado (como é o caso da SOCER). O Brasil é o segundo maior produtor mundial de resina de pinheiro, a seguir à China, com mais de 88000 ton/ano. A China chegou à produção de 600000 ton.

Em 2010, a China reduziu abruptamente as exportações, em parte pelo aumento do autoconsumo, e por outro lado, devido a condições climáticas adversas. O preço no mercado mundial em 2010 superou os 3000 dólares/ton, ou seja, o preço da década de 70. Este preço já justificava a aquisição rentável de resina às explorações nacionais. A resina portuguesa, que chegou aos 0,40 €/kg em 2004, alcançou os 1,50 Euros/Kg em 2010.

No entanto o preço da resina chinesa baixou novamente e é difícil prever tendências. As oscilações são uma quebra cabeça para os operadores, que trabalham e que criam valor. O planeamento é difícil, e exige permanentemente um plano de recurso.

Em Moçambique, o Governo tem vindo tentar dinamizar as questões agrícolas no país. Como estratégia tem vindo a procurar apoio internacional com o objetivo de rapidamente atingir maior modernização. A *Embrapa Florestas Brasil* foi consultada sobre a possibilidade de colaborar nos aspectos relacionados à base florestal, verificando o potencial do setor florestal em Moçambique. No relatório de Novembro de 2006 afirma-se: «Entre os pinus (...) Nos solos argilosos como em Manica e nas regiões de topografia acidentada, próximas a Zimbabwe, a espécie mais promissora é *Pinus elliottii* para produção de madeira e/ou para extração de resina.» (Shimizu, 2006).

Deste modo, segundo a *Embrapa Florestas*, encontram-se disponíveis os meios para a extração de resina de pinheiro e posterior produção de colofónia. O interesse que o Governo Moçambicano demonstrou em encomendar esta recolha leva a crer que uma exploração deste bem pode ser um passo no sentido de atingir um desenvolvimento sustentável e autónomo.

O caso Português – a colofónia como um meio para atingir o desenvolvimento sustentável

Em Portugal existe um elevado potencial para a produção de colofónia, já que cerca de 33% das árvores nas florestas Portuguesas são pinheiros.

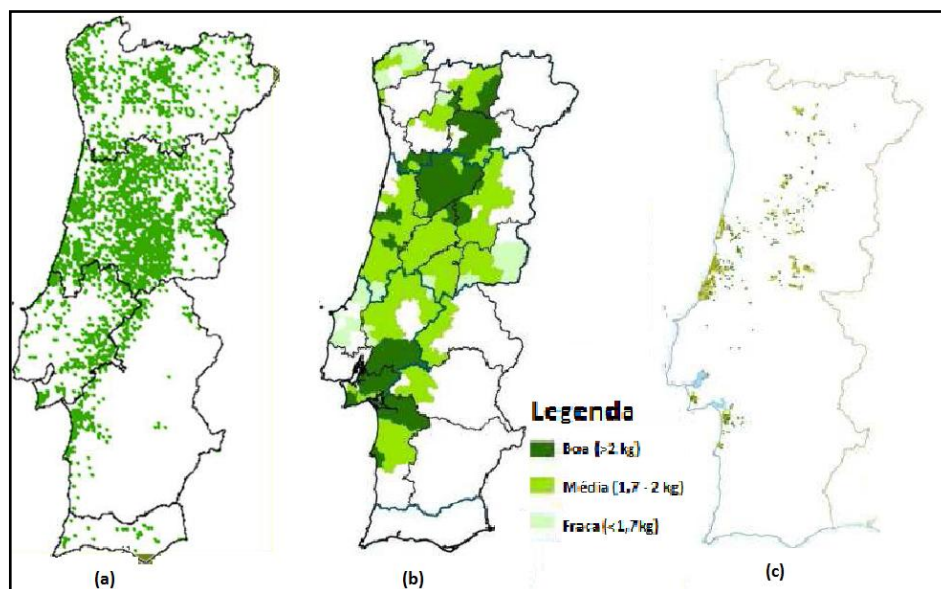


Figura 58 – a) Povoação de pinheiros em Portugal, b) Produção de goma resina de 1977 a 1982, c) Localização da exploração de pinheiro para produção de resina atualmente

Do ponto de vista do desenvolvimento sustentável, a exploração de resina de pinheiro em Portugal poderia conduzir a bons resultados dada a sua elevada qualidade comparativamente a

outros produtores mundiais. Contudo, desde o início do decréscimo na exploração deste recurso que se tem verificado cada vez menos investimento e investigação neste campo. Deste modo uma das desvantagens face a outros produtores mundiais reside precisamente na necessidade de acompanhar os tempos e estudar novas perspetivas, nomeadamente, melhorias na forma de extração, novas aplicações e alternativas que possam colocar a colofónia Portuguesa novamente no mercado competitivamente.

Tabela 32 - Linhas para uma estratégia, oportunidades e ameaças

Oportunidades	Ameaças
Existência de florestas de pinheiro bravo e pinheiro manso	Forte concorrência de produtos sucedâneos no mercado internacional
Domínio técnico-científico da espécie e de sistemas de produção tradicionais	Despovoamento, abandono e aumento da taxa de incêndios;
Existência de indústrias de 1ª e 2ª transformação	Aumento significativo da área afetada por pragas e doenças – nématodo da madeira do pinheiro
Modificação dos equilíbrios dos mercados internacionais com forte aumento da procura	Custo de extração da resina elevado e bastante variável
Valorização de produtos naturais face a produtos sintéticos	Baixo nível de experimentação e ensaios de novos modelos de produção de resina
Aumento de procura dos resinosos para novos produtos industriais	
Apoios comunitários, aumento da empregabilidade	

Uma possível estratégia para a exploração da resina seria: 1) investir nos pinhais, agindo preventivamente e construindo infraestrutura, 2) investir na atividade de resinagem com o objetivo de aumentar a produtividade (aumentar a produção de resina nas áreas públicas e privadas, dinamizar o setor estudando parcerias, adaptar e desenvolver novos modelos de gestão e de resinagem, incluindo a mecanização de processos, incentivar o marketing da resina Portuguesa) e 3) promover a modernização e a criação de novos produtos e aplicações industriais.

5. TRABALHO EXPERIMENTAL

5.1. Caracterização dos materiais

Este capítulo dedica-se à caracterização mecânica dos materiais selecionados e compósitos produzidos através de combinações entre eles. Os ensaios foram realizados no INEGI e no DEMec.

Com o objetivo de efetuar uma caracterização preliminar, foi realizado o ensaio MFI à colofónia, segundo a ISO 1133, e o ensaio de granulometria e medição do peso volúmico do solo, segundo a ISO-TS 17892-4. Para caracterização mecânica dos materiais compósitos foram realizados testes não normalizados de flexão e ensaio de absorção de água segundo a ISO 62. Ainda relativamente à colofónia, foi determinado o HDT e foi também tentada a sua caracterização à tração, sem sucesso, como será explicado na apresentação dos resultados.

A descrição de todos os ensaios encontra-se mais adiante nesta introdução. Os resultados do MFI e ensaio de granulometria são apresentados após a descrição do ensaio, enquanto os resultados da caracterização mecânica são explorados em maior detalhe ao longo do capítulo.

Dada a falta de experiência com a colofónia, é necessário descrever o processo de aprendizagem no seu processamento e no de materiais compósitos que integram. Assim sendo, explicam-se os primeiros passos no manuseamento dos materiais, descrevem-se as dificuldades e apresentam-se os resultados das primeiras tentativas de produção de materiais compósitos.

Para efeitos de caracterização mecânica foram efetuados, por moldação manual, provetes de resina e de diferentes materiais compósitos. A dimensão dos provetes utilizados no ensaio à flexão e absorção de água foi de $53 \times 8 \times 8$ [mm³], para a tração foram utilizadas amostras de $53 \times 8 \times 4$ [mm³] e finalmente o ensaio HDT utilizou amostras de $80 \times 10 \times 4$ [mm³].

Os resultados obtidos são apresentados e discutidos e são mencionadas, em propostas para trabalho futuro, alternativas para melhorar tanto a produção de provetes e como a sua caracterização.

Ensaio MFI

O MFI, *Melt Flow Index*, é utilizado como parâmetro de controlo e aceitação de novos produtos. Este método é utilizado geralmente para poliolefinas (polietileno HDPE, LDPE, LLDPE), e polipropileno.

O MFI define-se como a massa de polímero, em gramas, que atravessa durante 10 minutos, uma fieira com um diâmetro e comprimento específicos quando lhe é aplicada uma pressão pré-definida, associada a diferentes cargas reguláveis, a uma dada temperatura. As dimensões da fieira do equipamento utilizado foram de 2,095 e 8 mm, para o diâmetro e comprimento respetivamente. Para o MFI, os segmentos de material extrudido são pesados a intervalos de tempo definidos para calcular e registar a velocidade de extrusão em g/10min. A massa colocada no equipamento pode variar entre 4 a 5 gramas.

$$MFI(T; m_{nom}) = \frac{600 \times m}{t}$$

Equação 9 – Cálculo do MFI

Onde:

T, temperatura de ensaio (°C)

m_{nom} , a carga nominal (kg)

t, o intervalo de tempo entre dois extrudidos (s)

600, fator de conversão para gramas por dez minutos

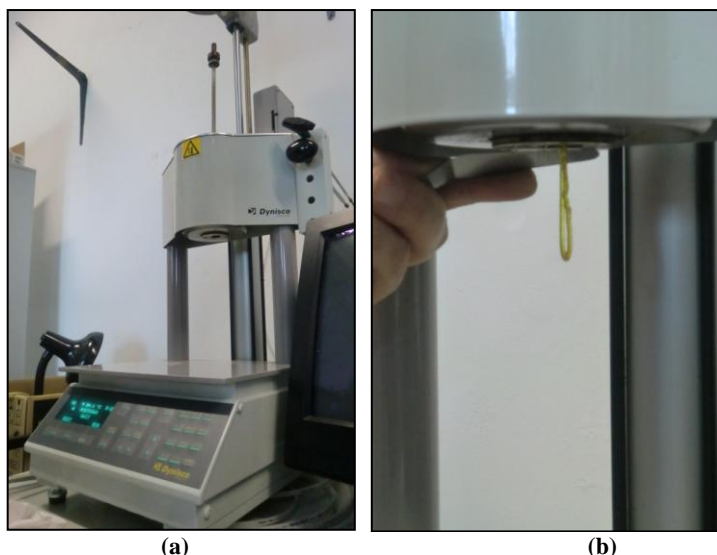


Figura 59 - (a) Equipamento para determinação do MFI (b) Corte do extrudido

Resultados

A temperatura de ensaio foi de 88,5°C, carga nominal de 2,16 kg e tempo entre extrudidos de 15 s, o valor médio obtido para o MFI foi de 19,52g/10 min.

Tabela 33 - Resultados do ensaio

	Massa (g)	MFI (g/10min)
Extrudido 1	0,52	20,8
Extrudido 2	0,48	19,2
Extrudido 3	0,47	18,8
Extrudido 4	0,5	20
Extrudido 5	0,47	18,8

Ensaio de granulometria e medição do peso volúmico

O ensaio de granulometria é o processo utilizado para a determinação da percentagem, em peso, que cada faixa especificada de tamanho de partículas representa na massa total ensaiada. Através dos resultados obtidos desse ensaio é possível a construção da curva de distribuição granulométrica, que possibilita a classificação do solo. A determinação da granulometria de um solo pode ser feita por peneiramento ou por peneiramento e sedimentação, se necessário.

O ensaio realizado foi de peneiramento e sedimentação, segundo a norma ISO-TS 17892-3. A Tabela 34 descreve o procedimento experimental resumidamente.

Tabela 34 - Descrição do procedimento experimental

Peneiramento Grosso (material retido na peneira #10)	<ul style="list-style-type: none"> - Lava-se o material na peneira #10 (2,0mm), em seguida coloca-o na estufa; - Peneira-se o material seco, mecânica ou manualmente, até a peneira #10; - Pesa-se a fração retida em cada peneira;
Peneiramento Fino (material que passa na peneira #10)	<ul style="list-style-type: none"> - Lava-se o material na peneira #200 (0,075mm), em seguida coloca-o na estufa; - Passa-se o material seco nas peneiras de aberturas menores que a #10; - Pesa-se a fração retida em cada peneira;
Sedimentação	<ul style="list-style-type: none"> - Coloca-se a massa P3 em “banho” (6 a 24 horas) com defloculante (solução de hexametáfosfato de sódio); - Agita-se a mistura no dispersor elétrico por 5 a 15 minutos; - Transfere-se a mistura para um provete graduada, completando com água destilada até 1000 ml e realiza-se o balanceamento; - Efetuam-se leituras do densímetro nos instantes de 30s, 1, 2, 4, 8, 15, 30min, 1, 2, 4, 8, 25h;

O Gráfico 1 apresenta os resultados das amostras de solo provenientes de Malonguete. O ensaio revelou que cerca de 90% da amostra apresenta granulometria $>0,1$ mm e peso volúmico de $25,5 \text{ kN/m}^3$.

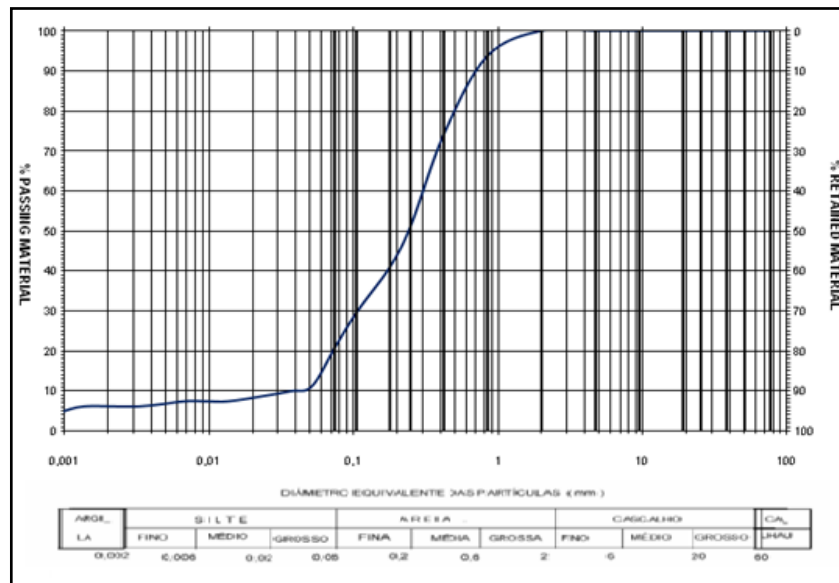


Gráfico 1 - Curva granulométrica da amostra de Malonguete

A quantidade de solo recolhida em Malonguete foi insuficiente para a realização dos ensaios de caracterização mecânica a que este trabalho se propõe, pelo que foi necessário obter mais amostras de solo semelhante. Para o efeito recorreu-se ao DEC (Departamento de Engenharia de Civil da FEUP), onde foram fornecidas amostras de solo de Chokwè, localidade que dista cerca de 300 km de Malonguete. Foram seleccionadas amostras cuja granulometria e peso volúmico fossem semelhantes ao solo de Malonguete. O Gráfico 2 mostra o gráfico de três amostras semelhantes. A amostra seleccionada foi a CE-3, representada a vermelho, por se tratar da granulometria mais similar. A Tabela 35 mostra a comparação entre os pesos volúnicos das amostras.

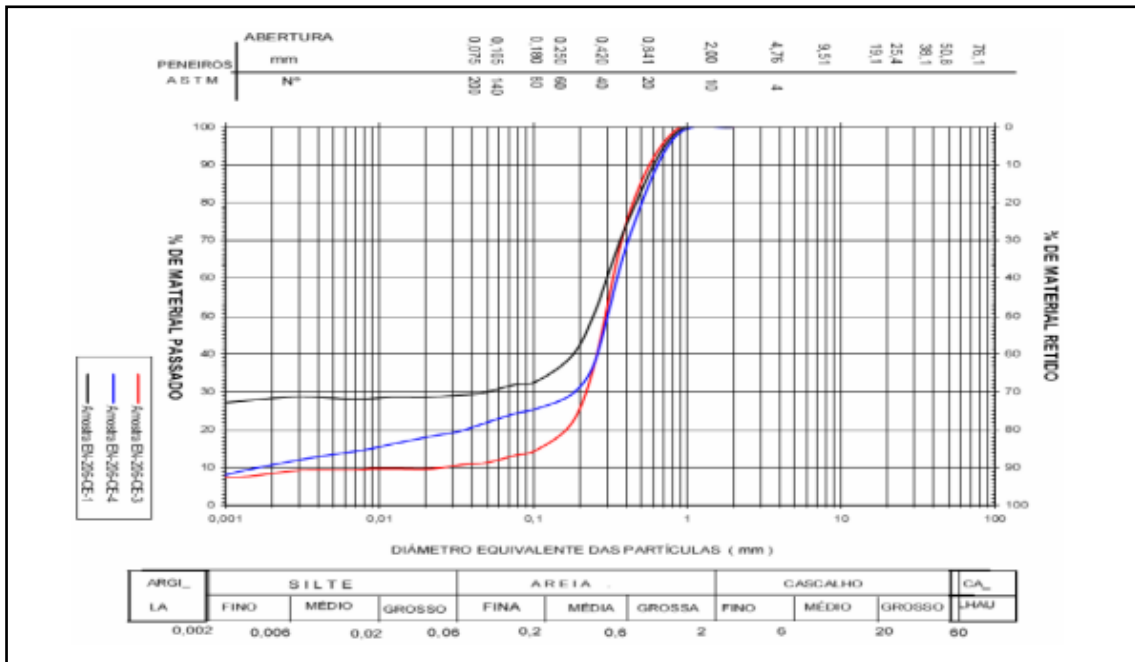


Gráfico 2 - Curva granulométricas das amostras disponibilizadas pelo DEC

Tabela 35 - Comparação entre os pesos volúnicos e densidades das duas amostras de solo

Proveniência do solo	Peso volúmico, γ (kN/m ³)	Densidade, ρ (g/cm ³)
Malonguete	25,5	2,6
Chokwè	26,852	2,74

Ensaio de flexão

O ensaio de flexão consiste na aplicação de uma carga crescente em determinados pontos de um provete, geralmente de dimensões normalizadas. Existem essencialmente dois tipos de ensaio: o ensaio a três pontos e o ensaio a quatro pontos. A diferença reside na aplicação de carga num ou dois pontos do provete (Figura 65).

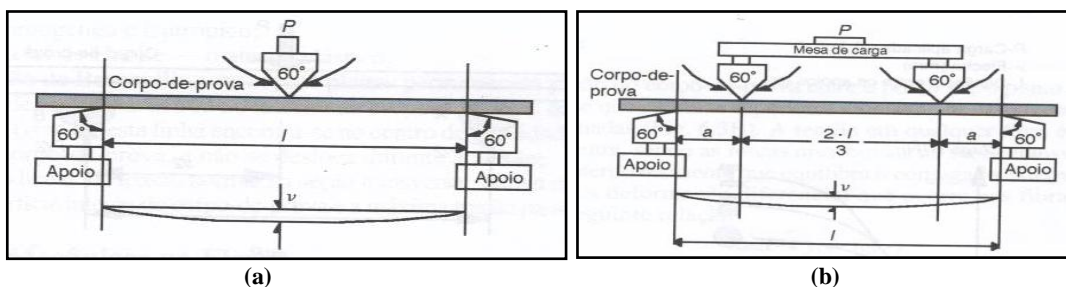


Figura 60 – a) Ensaio a três pontos, b) Ensaio a quatro pontos

A partir deste ensaio podem-se retirar propriedades mecânicas dos materiais, tais como a tensão de rotura e o módulo de Young à flexão. O módulo de Young é dependente, entre outros, da estrutura atômica e da velocidade de ensaio.

Neste trabalho foi efetuado o ensaio a três pontos. Apesar do tamanho de provetes não ser normalizado, optou-se por escolher uma velocidade de ensaio recomendada pela norma ISO14125, de $0,5 \text{ [ms}^{-1}\text{]}$, a fim de se puderem estabelecer comparações com outros materiais. Na Tabela 36 reúnem-se outras especificações do ensaio.

Tabela 36 - Especificações do ensaio de flexão

Distância entre apoios	40 mm
Diâmetro dos roletes de apoio e carga	5 mm
Velocidade de ensaio	$0,5 \text{ ms}^{-1}$
Capacidade da célula de carga utilizada	500 N

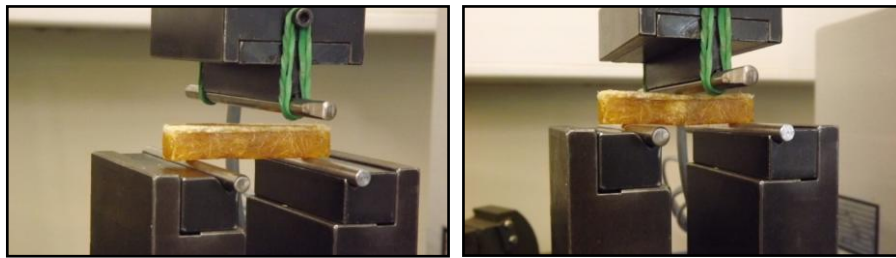


Figura 61 - Ensaio a provete de resina e fibra

Neste ensaio os resultados são interpretados com a aproximação de que se trata de um caso de flexão pura, isto é, desprezam-se tensões de corte no material, o que influencia os resultados de módulo de Young.

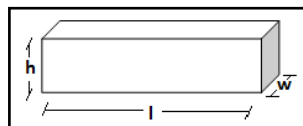


Figura 62 - Geometria do provete

$\sigma_f = \frac{3 F_{\text{máx}} L}{2 w h^2}$	$S = \frac{\varepsilon L^2}{6 h}$	$E_f = \frac{L^3}{4 w h^3} \left(\frac{\Delta F}{\Delta s} \right)$
---	-----------------------------------	--

Equação 10 – Cálculo de tensão de rotura, flecha e módulo de Young

Onde:

σ_f , Tensão de rotura à flexão (MPa)

$F_{\text{máx}}$, Força máxima atingida no ensaio (N)

L, distância entre vãos (mm)

s, flecha (mm)

Ensaio de absorção de água

As amostras são mantidas numa estufa durante 24 horas, a 50°C, tempo após o qual se deixa que atinjam a temperatura ambiente. São então pesadas num equipamento de precisão, sendo este procedimento repetido até que a leitura seja constante. Seguidamente as amostras são colocadas num recipiente com água destilada, a 23°C(±1°C), em quantidade suficiente para que fiquem submersos. Após imersão durante 24 horas os provetes são retirados, secos com um pano limpo e seco ou com papel, e pesados, a menos de 1 minuto após terem sido removidos. As amostras são novamente colocadas no recipiente e o processo repete-se na escala de tempo predeterminada. Uma escala comum é de 24 horas, 48 horas, 96 horas, 192 horas, etc. Pelo menos uma vez em cada 24 horas a água deve ser agitada.



Figura 63 - Equipamento de medição de precisão

Ensaio HDT

O objetivo do ensaio HDT, *Heat Deflection Temperature*, é determinar a capacidade que uma amostra, de determinadas dimensões, tem de resistir à deformação quando sujeita a uma solicitação e à elevação de temperatura. Tipicamente é semelhante a um ensaio de flexão a três pontos, sendo que o conjunto é colocado dentro de um fluido cuja temperatura vai aumentando.



Figura 64 - Equipamento de medição da HDT

O fluído utilizado neste caso foi a parafina, cuja temperatura aumenta 2°C por minuto até que seja atingida a flecha de 0,35 mm.

5.2. Manuseamento e dificuldades no processamento de material

Os materiais utilizados nos trabalhos foram a colofónia, a fibra natural de sisal e amostras de solo Moçambicano.



Figura 65 – Materiais utilizados nos trabalhos experimentais

A colofónia é um material sólido à temperatura ambiente, cujo comportamento se assemelha a um termoplástico, podendo ser aquecido e reaquecido. Verifica-se escurecimento da resina quando exposta a longos períodos de aquecimento. É extremamente frágil à temperatura ambiente, exigindo cuidado na sua manipulação.

A resina pode ser manipulada de duas formas: por aquecimento, com cura à temperatura ambiente, ou diluída em álcool, sendo necessário realizar a evaporação do álcool posteriormente. Ao longo do estudo deste material foram encontradas dificuldades na produção de provetes deste material, nomeadamente, na escolha do desmoldante, do molde e da geometria dos provetes.

Escolha do desmoldante

Foram testados diversos tipos de desmoldantes, tais como o Frekote, cera desmoldante, desmoldante k3, filme desmoldante. O filme desmoldante permitia desmoldação como alguma dificuldade, sendo que se verificou alguma adesão entre resina e o filme. Os restantes desmoldantes não mostraram resultados positivos.

Experimentou-se a utilização do método do saco de vácuo, processo que consiste no uso de um saco desmoldante, dentro do qual se encontra o molde. Retira-se todo o ar do saco, vaza-se material e deixou-se novamente o ar entrar. Em superfícies lisas foi possível desmoldar. Contudo com geometrias mais complexas, com saliências, a peça fissura durante a remoção.

Um material que se mostrou eficaz na desmoldação da resina foi o silicone. Alternativamente, encontrada numa abordagem de tentativa-erro, foram os sacos plásticos comuns de polietileno para desmoldar tubos.

Escolha do molde

Uma das possibilidades de realização de provetes é a produção de um bloco de material que pode posteriormente ser maquinado para obtenção de peças do valor pretendido, geralmente para tamanhos normalizados. Esta abordagem não é realizável com a colofónia, que sendo muito frágil, quebra muito facilmente. Deste modo, concluiu-se que as amostras devem ser produzidas já com as dimensões pretendidas.

Uma experiência consistiu na produção de uma estrutura desmontável em madeira, revestida por filme desmoldante, para colocar no interior de um molde de silicone e aí vazar o material (Figura 66). A rigidez do molde não permitia a desmoldação dos provetes que, depois de curados, partiam na remoção da estrutura do molde. Assim sendo, o molde deveria ser obtido a partir de um material flexível, como o silicone.

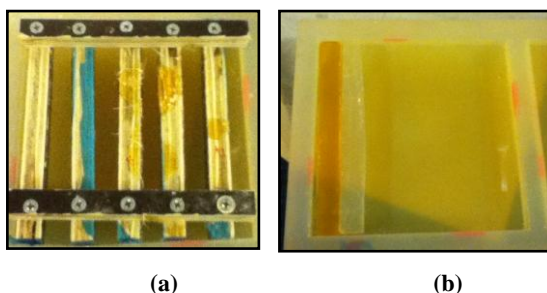


Figura 66 – (a) Molde de madeira desmontável, revestido de filme desmoldante, (b) Molde de silicone

Geometria dos provetes

As primeiras tentativas na produção de provetes para o ensai de flexão pretendiam respeitar a norma ISO 14125, a qual para materiais classe I (termoplásticos reforçados por fibras descontinuas), indica deimensões de 100x10x5 [mm³].



Figura 67 – Resultado da tentativa de produzir amostras de tamanho normalizado

No entanto, esta geometria revelou-se de difícil execução, uma vez que os provetes partem no ato de desmoldar, devido à relativamente elevada razão de aspecto entre a espessura e o comprimento.

Tratando-se de um material novo, não há obrigatoriedade de seguir a norma. Deste optou-se por escolher uma nova geometria, mais resistente à desmoldação. Para os provetes que permitisse desmoldar mais facilmente. Neste sentido aumentou-se o momento de inércia, isto é aumentou-se a espessura do provete, e diminuiu-se o comprimento. Foram produzidas amostras de tamanhos $53 \times 8 \times 8$ [mm³] para ensaio à flexão e absorção de água e $53 \times 8 \times 4$ [mm³] para ensaio à tração.

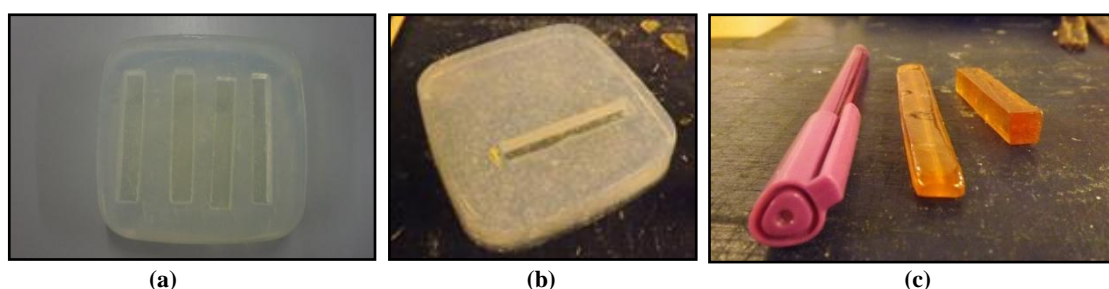


Figura 68 – (a) (b) Moldes utilizados para produção dos provetes (c) Comparação entre as geometrias dos provetes

Apesar das melhorias relativamente à facilidade de produção de amostras, verificam-se ainda irregularidades nas secções dos provetes. Assim sendo, torna-se necessário polir/lixar as amostras após a moldação.

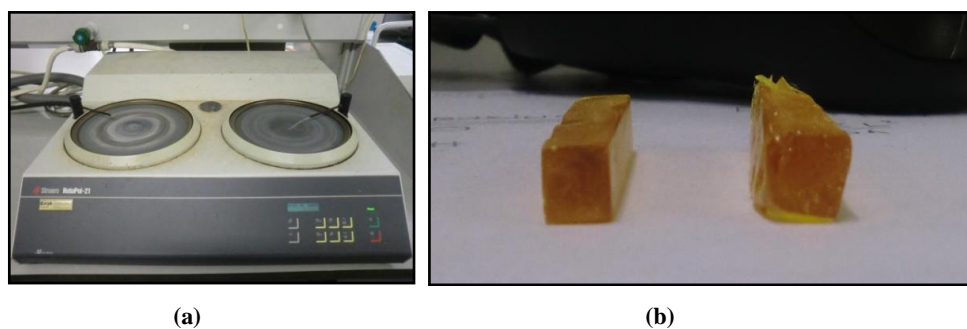


Figura 69 – (a) Equipamento utilizado para polir as amostras, (b) melhorias na secção da amostra

5.3. Primeiras tentativas na criação de material compósito

Foram realizadas misturas de materiais com o objetivo de perceber grosseiramente como era o seu comportamento e iniciar o desenvolvimento da melhor forma de processá-lo. Inicialmente foi testada a mistura areia e resina, e fibra e resina, apenas com o objetivo de compreender

qual a melhor relação entre as proporções volúmicas. Realizaram-se também alguns testes preliminares para a produção de tubos.

Areia e colofónia

Inicialmente foi testada a mistura de areia e resina, para a formação de um compósito semelhante a um adobe, no qual se esperava que a resina atuasse com um agente aglomerante impermeabilizante. Aqueceu-se a resina num recipiente de vidro, a cerca de 150°C, e misturou-se gradualmente areia até ser obtida uma textura semelhante ao cimento. A cura foi efetuada à temperatura ambiente.



Figura 70 - Resultado da mistura de areia e colofónia

A proporção da mistura alcançada nestes testes foi de 60% volume de colofónia e 40% de volume de areia.

Produção de tubos

Foram produzidos tubos manualmente e por enrolamento filamental. Neste processo a resina foi manipulada de duas formas: aquecimento e diluição em álcool. Como desmoldante foi utilizado um saco plástico comum de polietileno e foi utilizado um mandril de PVC.

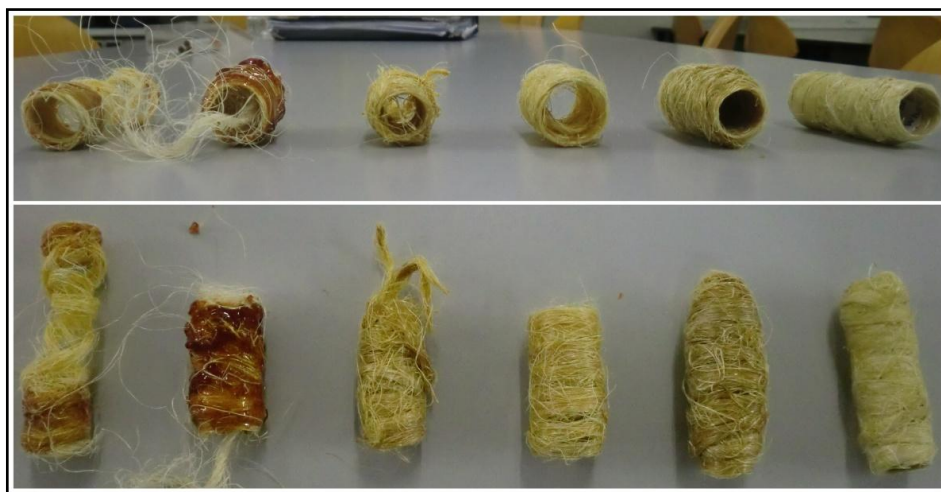


Figura 71 - Tubos produzidos manualmente, por aquecimento e diluição de resina

O processo de produção manual consistiu na reprodução do sistema tradicional de enrolamento filamental. Aqueceu-se a resina num recipiente, através do qual se efetuou a passagem da fibra, que posteriormente foi enrolada sobre o mandril.

Esta abordagem mostrou-se pouco promissora essencialmente por dois motivos: 1) fraca molhagem da fibra devido à elevada viscosidade da resina, 2) a resina cura muito rapidamente, não existindo muito tempo disponível entre o processo de banho da resina e o enrolar.

A difícil trabalhabilidade da resina a quente obrigou a considerar alternativas. Optou-se por diluir a colofónia em álcool, com a ideia de efetuar uma cura no resultado final de modo a evaporar novamente o álcool. A proporção, em massa, de álcool e colofónia foi de 50%. Os resultados permitiram a melhoria da molhabilidade da fibra e, consequentemente, a maior resistência do tubo (ver Figura 72).

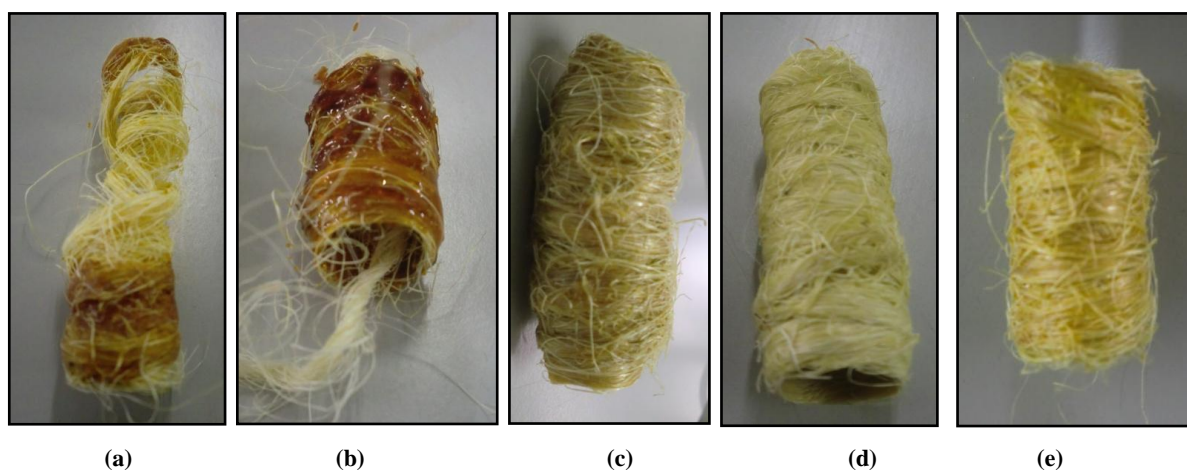


Figura 72 - (a) (b) tubos produzidos manualmente por aquecimento, (c) tubo produzido por diluição da resina e cura na estufa, (d) tubo produzido com álcool e cura ao ar ambiente (ângulo de enrolamento diferente de 90 ou 0°), (e) tubo produzido com álcool (ângulo de enrolamento 90°)

A realização do enrolamento manual de tubos tem como principal defeito não garantir a aplicação constante de uma tensão à fibra. Deste modo testou-se a produção de um tubo no equipamento de enrolamento filamental.

O procedimento consistiu em enrolar as fibras contínuas de sisal a seco, e molhá-las à medida que iam sendo enroladas com auxílio de um pincel. Foi utilizada resina diluída em álcool na mesma proporção referida anteriormente.

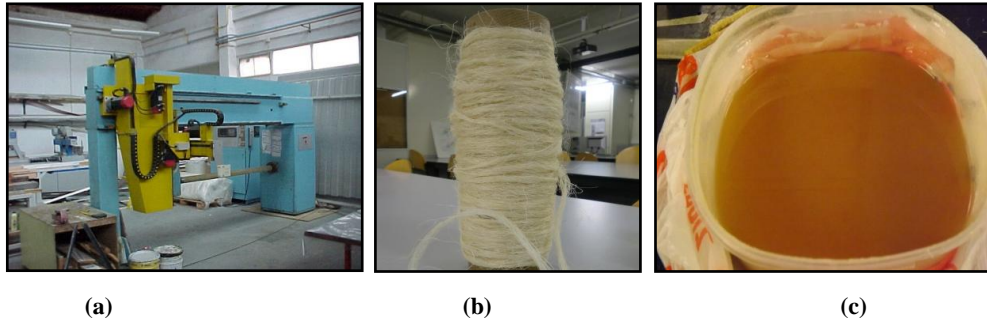


Figura 73 - (a) Equipamento de enrolamento filamental do INEGI, (b) Fibra de sisal contínua (c) Resina colofónia diluída em álcool

Concluiu-se que é possível produzir tubos com relativa dureza e resistência, variável naturalmente de acordo com a espessura e ângulos de enrolamento. Tubos com pouca espessura são quebradiços e pode-se verificar desagregação de material (Figura 74). Os tubos aparentemente são estanques, contudo verificou-se absorção de água, pelo que deve ser considerada a hipótese de aplicação de um tratamento ou revestimento superficial.

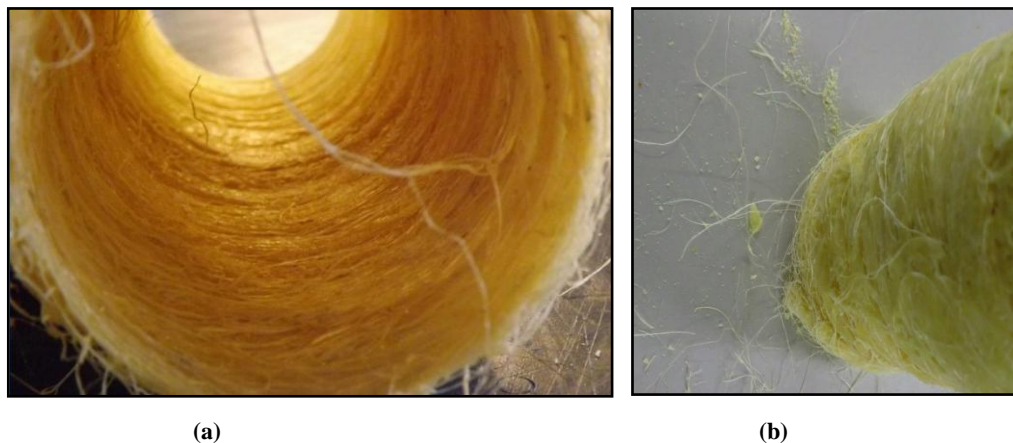


Figura 74 – (a) Superfície interior do tubo enrolado mecanicamente, (b) desagregação de material da superfície exterior do tubo

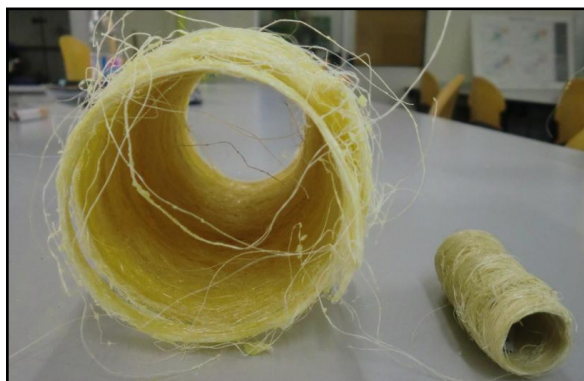


Figura 75 - À esquerda, tubo enrolado mecanicamente, à direita tubo enrolado manualmente

Fibras e colofónia

Com o objetivo de formar um material quasi-isotrópico foi testada a mistura de fibras de diversos tamanhos utilizando como matriz a colofónia. Neste caso a colofónia foi também trabalhada a quente e diluída em álcool.

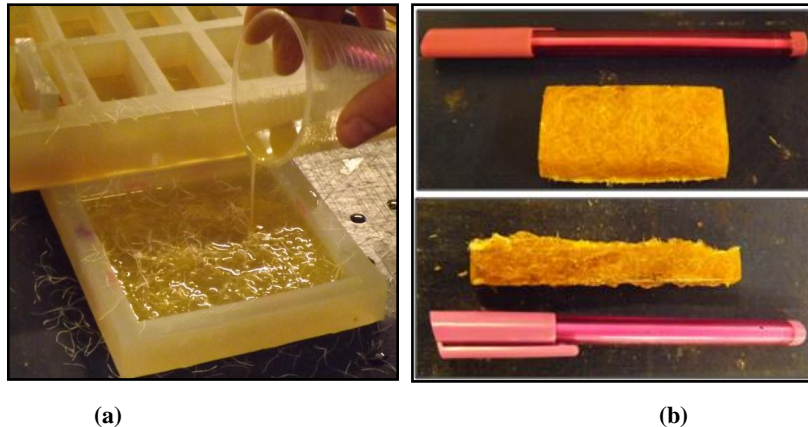


Figura 76 - (a) Vazamento de resina diluída em álcool em fibras de 25 mm (b) em cima: amostra produzida com álcool, em baixo: amostra produzida por aquecimento

Foram testados tamanhos de fibras desde 4 até 25 mm. Verificou-se que a mistura entre a resina e as fibras, por aquecimento, se torna mais fácil para tamanhos de fibra menores.

As amostras misturadas com álcool foram submetidas a uma cura na estufa. Com o objetivo de prevenir porosidades nos provetes devido à libertação de álcool, os moldes foram tapados e foi colocada uma massa por cima de forma a realizar pressão sobre a amostra. Após algumas tentativas verificou-se que nem sempre se dava a evaporação do álcool, ainda que a temperatura, tempo e mistura fossem as mesmas. Uma possível conclusão relativamente a estas divergências pode relacionar-se com a necessidade de combinar três fatores: temperatura, pressão e tempo para a evaporação total do álcool. Diferenças na temperatura ambiente podem também ser controladas.

Um caso bem sucedido foi a produção de uma amostra de dimensões $60 \times 30 \times 10$ [mm³], com 10% de fibras, de 4-5 mm, proporção de diluição da resina, em massa, de 50%. Utilizou-se uma tampa de silicone sobre a qual se colocou uma massa de 5 kg (Figura 76 b)).

5.4. Metodologia de preparação dos provetes

5.4.1. Tamanho e orientação da fibra

A incorporação de fibras em materiais compósitos pode ser efetuada de diferentes formas. Compósitos constituídos por fibras curtas combinadas aleatoriamente têm propriedades mecânicas intermédias em relação a orientações unidirecionais e laminados orientados em direções alternadas. Compósitos de fibras curtas orientadas aleatoriamente têm ainda a vantagem de possuir propriedades mecânicas quasi-isotrópicas.

Assim sendo, dada a maior facilidade no seu fabrico no contexto do problema, optou-se por utilizar fibras curtas, de 4-5 mm, orientadas aleatoriamente.

5.4.2. Descrição do procedimento

O procedimento utilizado para produção de amostras para teste à tração, flexão e absorção de água consistiu em: 1) Aquecimento da mistura num recipiente de vidro ou alumínio, a 150°C, com recurso a um disco elétrico, 2) Vazamento para o molde, 3) Cura à temperatura ambiente.



Figura 77 – Disco elétrico utilizado para aquecer a colofónia ou mistura

5.4.3. Identificação e composição dos provetes

Na Tabela 37 apresenta-se a nomenclatura dos provetes, constituintes e observações ou detalhes sobre o seu processamento.

Tabela 37 - Constituintes das amostras e procedimento

Nomenclatura da amostra	Percentagem volúmica de constituintes	Observações
CC	100% Colofónia	A resina é aquecida a 150°C e vazada assim que toda a resina esteja no estado líquido. A mistura tem uma cor amarela claro.
CE	100% Colofónia	Após atingir o estado líquido, deixa-se repousar, a temperatura constante de cerca de 150°C, durante cerca de 10 minutos. A mistura tem um tom escuro acastanhado.
CCF	90% de colofónia 10% de fibra	A resina é aquecida, assim que atinge o estado líquido, as fibras são misturadas e a mistura vazada. A mistura tem uma cor amarela claro.
CEF	90% de colofónia 10% de fibra	A resina é aquecida, assim que atinge o estado líquido, as fibras são misturadas. A mistura repousa a temperatura constante durante 150°C, vazando-se após 10 minutos. A mistura tem um tom escuro acastanhado.
CA	55% Colofónia, 45% areia	A resina é aquecida a 150°C assim que atinge o estado líquido, a areia é misturada e vaza-se a mistura.
CAF	55% mistura colofónia e fibras (na mesma proporção das amostras CCF), 45% areia	A resina é aquecida, assim que atinge o estado líquido, a areia e fibras são misturadas e vaza-se a mistura.
CCF20	80% de colofónia 20% de fibra	Procedimento semelhante ao das amostras CCF.



Figura 78 - Provets CC, CFC e CFE, CA e CFA para ensaio à flexão

5.5. Ensaio de flexão

Foram realizadas duas repetições do ensaio de flexão. O primeiro ensaio de flexão testou amostras de seis tipos. CC, CE, CCF, CEF, CA e CAF. O ensaio foi repetido para as amostras CC, CE e CCF. Em cada ensaio foram testadas no mínimo seis amostras de cada tipo.

Em ambos os casos os provetes foram medidos e foi efetuado o cálculo da secção média, através da qual foi calculada a tensão de rotura. O cálculo do módulo de Young foi efetuado na zona onde se verifica maior linearidade do ensaio, sendo que nem sempre foi possível utilizar a mesma zona de amostragem para todas as amostras. À semelhança do cálculo da tensão rotura, foram também consideradas as dimensões médias.

5.5.1. Resultados

Primeiro teste de flexão

A partir do ensaio de flexão foram calculadas três propriedades mecânicas do material: tensão de rotura, deformação após rotura e módulo de Young, apresentados na Tabela 38.

Tabela 38 - Resultados do primeiro ensaio de flexão

Nomenclatura da amostra	Tensão de rotura à flexão, σ_f (MPa)		Deformação após rotura, ε (%)		Módulo de Young, E (GPa)	
	$\overline{\sigma_f}$	Desvio padrão	$\overline{\varepsilon_f}$	Desvio padrão	\overline{E}	Desvio padrão
CC	2,33	0,85 (37%)	0,397	0,19 (49%)	0,638	0,21 (33%)
CE	2,04	0,58 (29%)	0,417	0,12 (29%)	0,421	0,15 (36%)
CCF	8,24	3,1 (38%)	1,923	0,58 (30%)	0,741	0,34 (47%)
CEF	5,29	0,95(18%)	2,317	0,48 (21%)	0,468	0,15 (27%)
CA	8,35	2,20 (26%)	3,281	0,32 (18%)	0,992	0,14 (13%)
CAF	7,58	1,88 (23%)	2,932	1,53 (52%)	0,896	0,25 (29%)

Os Gráficos 3, 4 e 5 apresentam os valores médios e desvio padrão das propriedades mecânicas dos diferentes provetes ensaiados.

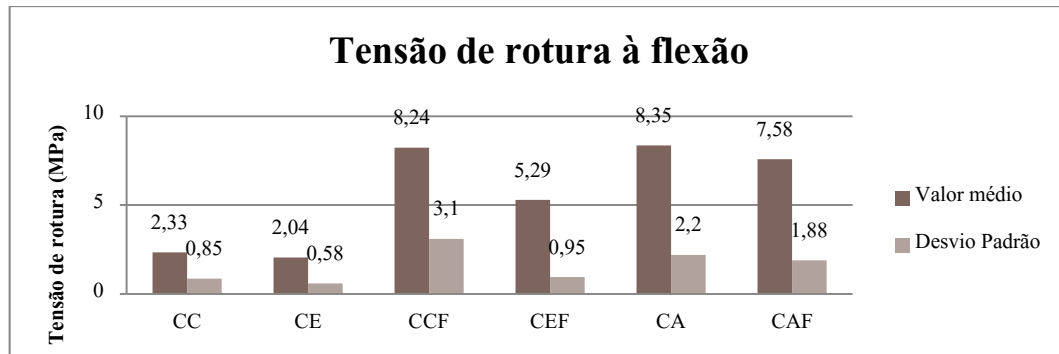


Gráfico 3 - Comparação entre valores médios e desvios padrão para tensão de rotura à flexão para as diferentes amostras

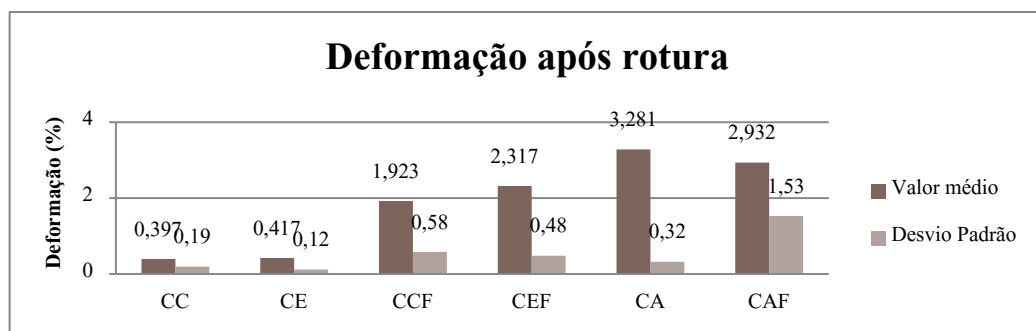


Gráfico 4 - Comparação entre valor médio e desvio padrão para deformação após rotura à flexão para as diferentes amostras

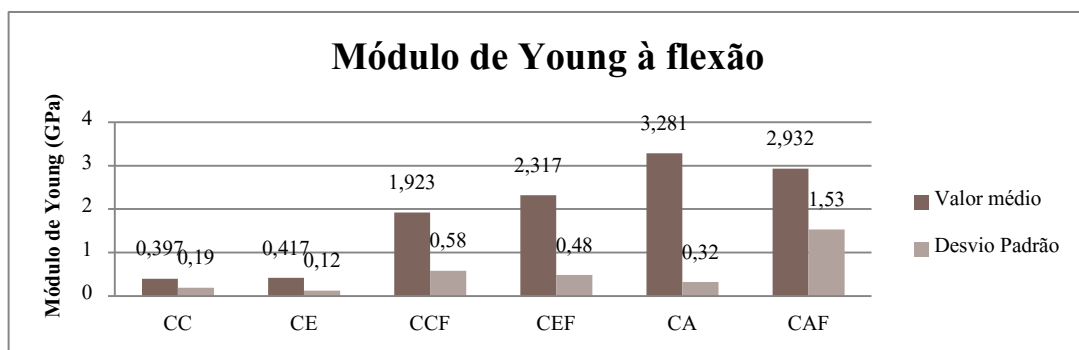


Gráfico 5 - Comparação entre valor médio e desvio padrão para módulo de Young à flexão para as diferentes amostras

A Figura 79 mostra uma das superfícies de fratura de um provete CE e também a visualização ao microscópio óptico onde é possível visualizar porosidades. Outras imagens e gráficos relativos a este ensaio podem ser consultados no ANEXO E.

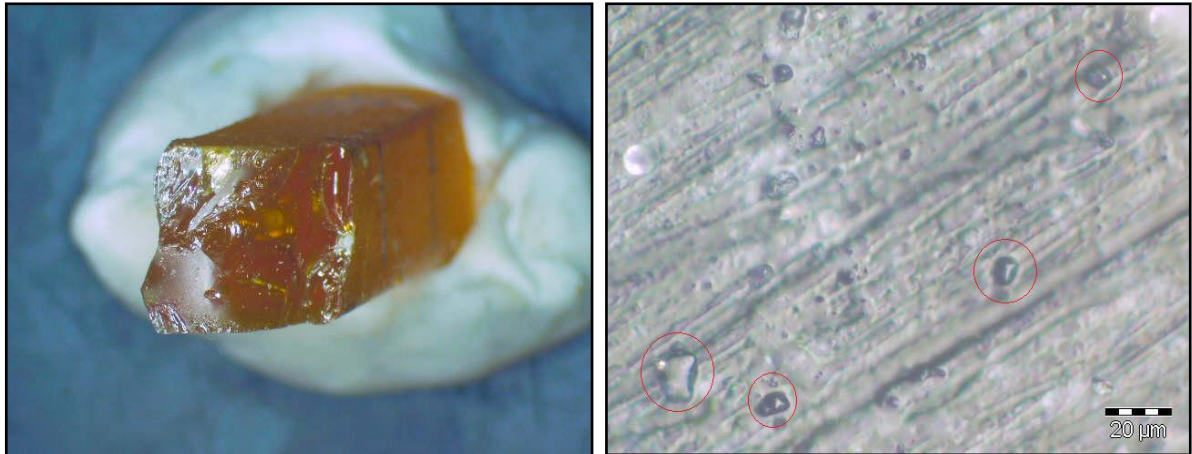


Figura 79 – À esquerda: superfície de fratura da amostra CE, à direita: Visualização da fratura ao microscópio, pormenor das porosidades

Segundo teste de flexão

A Tabela 39 apresenta os resultados das repetições do ensaio de flexão para as amostras CC, CE e CCF20.

Tabela 39 - Resultados do segundo ensaio de flexão

Nomenclatura da amostra	Tensão de rotura à flexão, σ_f (MPa)		Deformação após rotura, ε (%)		Módulo de Young, E (GPa)	
	$\bar{\sigma}_f$	Desvio padrão	$\bar{\varepsilon}_f$	Desvio padrão	\bar{E}	Desvio padrão
CC	2,86	0,40 (14%)	0,340	0,05 (14%)	1,080	0,08 (8%)
CE	2,83	0,74 (26%)	0,297	0,04 (12%)	1,048	0,22 (20%)
CCF20	11,04	2,31 (21%)	1,793	0,09 (5%)	0,971	0,22 (23%)

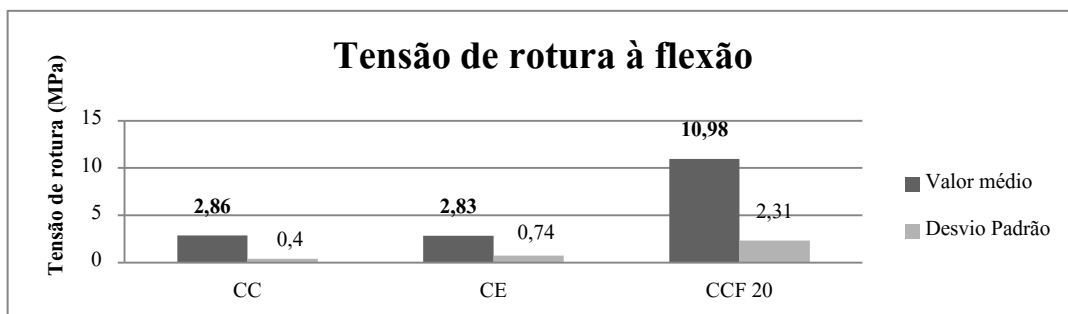


Gráfico 6 - Comparação entre valores médios e desvios padrão para tensão de rotura à flexão

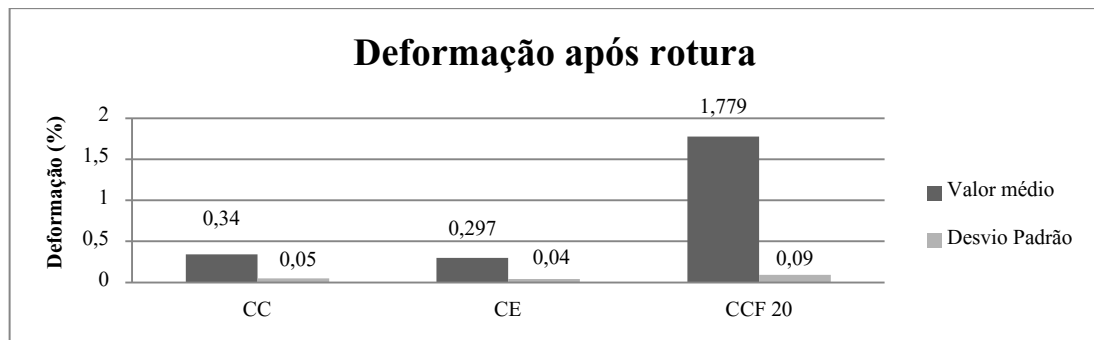


Gráfico 7 - Comparação entre valores médios e desvios padrão para a deformação após rotura

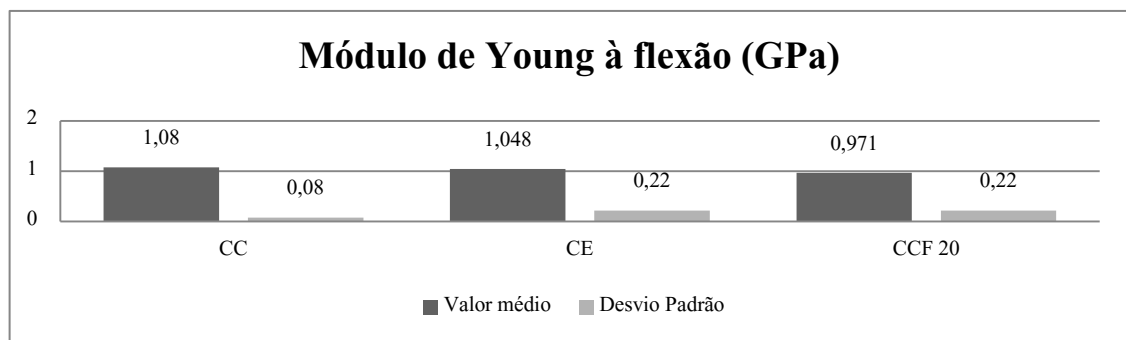


Gráfico 8 - Comparação entre valores médios e desvios padrão para Módulo de Young à flexão

5.6. Ensaio de absorção de água

Para o ensaio de absorção de água foram utilizados provetes de dimensões semelhantes aos do teste de flexão. Nos provetes com fibras, devido ao processo de fabrico, existiam fibras à superfície. Para prevenir que a água fosse absorvida pelas fibras, os provetes foram revestidos com um filme de resina. Ainda assim alguns provetes sofreram contaminação, as fibras absorveram água provocando a quebra da matriz (Figura 80).



Figura 80 - Amostra depois de inserida em água, pormenor de quebra da matriz devido à expansão da fibra

Deste modo vários resultados não foram considerados. Por impossibilidade de produção de novos provetes do tipo CAF, foram apenas registados os valores de CC, CE, CA, CEF e CCF. As medições foram realizadas após 24, 48, 96, 192 e 382 horas.

5.6.1. Resultados

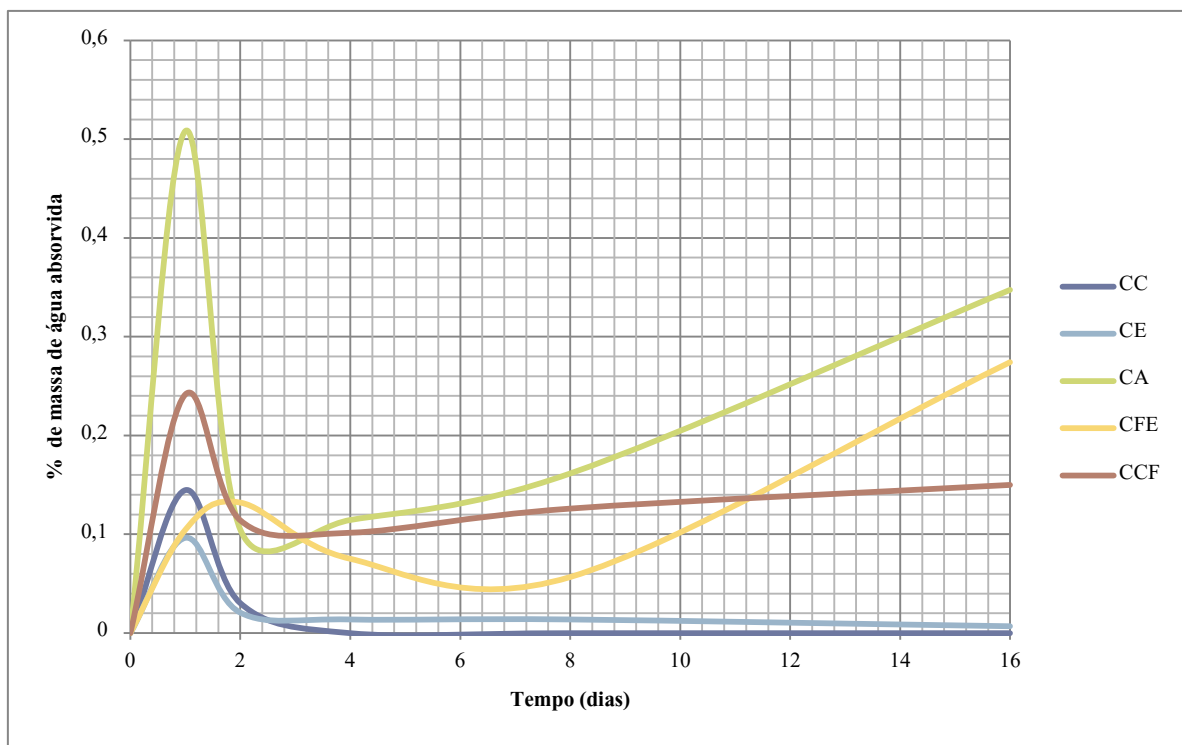


Gráfico 9 - Gráfico de % de massa de água absorvida em relação ao tempo

O Gráfico 9 mostra a percentagem de massa de água absorvida em relação ao tempo. A percentagem é sempre calculada em relação à medição anterior, como sugerido pela norma. É notório em todas as amostras que o período de maior absorção de água sucede logo durante o primeiro dia de imersão.

Seria de esperar que as amostras, no decorrer do tempo, fossem absorvendo cada vez menos água, isto é, deveria observar-se uma tendência para o valor 0 no eixo das ordenadas, quando o tempo tende para infinito.

5.7. Ensaio HDT

5.7.1. Resultados

A temperatura de HDT determinada foi de 43,5°C. A Figura 81 mostra o provete de colofónia no final do ensaio.

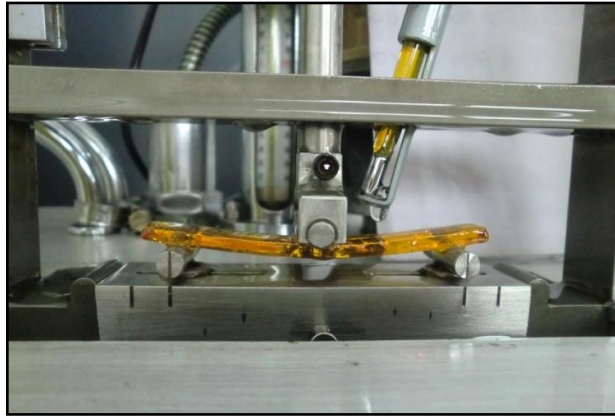


Figura 81 - Amostra de colofónia no final do ensaio HDT

5.8. Ensaio de tração

5.8.1. Resultados

Para que o ensaio de tração seja realizável uma das exigências é a garantia de uma superfície perfeitamente plana. As duas fases do provete devem ser perfeitamente paralelas, de modo que quando introduzidas nas amarras, e apertadas, a distribuição dos esforços seja igual ao longo do provete e não se verifique torção.

Outro ponto crucial deste ensaio é a garantia de um comprimento suficientemente grande para que seja possível colocar um extensómetro, de modo a medir a deformação, essencial para a determinação das propriedades mecânicas relativas ao ensaio de tração.

Numa avaliação mais concreta para o caso do ensaio da colofónia, uma limitação residiu na grande fragilidade do material e no tipo de amarras do equipamento disponível. Estas amarras possuem um dentado, cuja finalidade é a de evitar o escorregamento da amostra, permitindo exercer a força de tração. O simples apertar desta superfície rugosa sobre a colofónia é suficiente para causar a sua rotura. Para evitar este contacto direto foram tentadas diferentes abordagens, tais como colocar uma superfície de fita adesiva e também uma lixa nas pontas

do provete. Ambas as abordagens foram mal sucedidas, verificando-se o escorregamento entre o provete e a fita adesiva, ou a quebra da amostra pelas amarras no caso da lixa Figura 82.

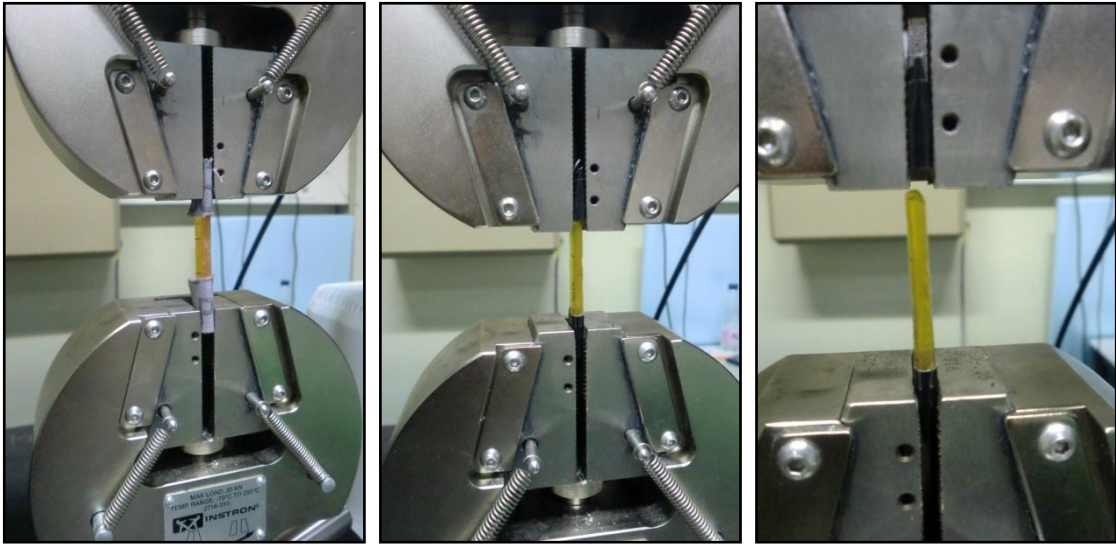


Figura 82 – À esquerda: Utilização de lixas nas amarras do provete, no meio: utilização de fita adesiva, à direita: escorregamento do provete dentro da fita adesiva

A impossibilidade de produzir provetes que respeitassem as regras acima descritas resultou no fracasso da realização do ensaio. Ainda assim, desta tentativa surgiram ideias para posteriores experiências, que serão mencionadas na discussão dos resultados.

5.9. Discussão dos resultados

Nesta fase, devido ao processo de fabrico das amostras, os valores apresentados têm ainda um erro associado bastante elevado, sendo que os valores constituem apenas aproximações dos valores reais. Os principais motivos que levam a afirmá-lo são:

- 1) NÃO HOMOGENEIDADE DA MISTURA NO VAZAMENTO - não há garantias que as proporções sejam iguais entre si porque tende a haver estratificação dos materiais durante o vazamento;
- 2) NÃO UNIFORMIDADE DA MISTURA NO PROVETE - dificuldade em garantir que o material já vazado se distribui uniformemente ao longo do provete. Não se garante a quasi-isotropia do compósito;
- 3) EXISTÊNCIA DE POROSIDADES – Deve-se deixar a mistura repousar antes de vaziar, a fim de deixar libertar as porosidades, contudo foi impossível produzir

amostras sem bolhas de ar, outro defeito de produção que pode condicionar os resultados dos ensaios;

- 4) GEOMETRIA DOS PROVETES – A secção dos provetes não é uniforme conduzindo a resultados que são apenas aproximações dos valores reais;
- 5) CONDIÇÕES DE ENSAIO – Para o cálculo das propriedades é considerado, para o ensaio de flexão, que se trata de um caso de flexão pura, ignorando-se as tensões de corte presentes no material.

Ainda com a incerteza associada a estes resultados é possível interpretar os resultados de uma forma preliminar.

No primeiro teste de flexão os resultados obtidos permitiram retirar as seguintes conclusões:

- 1) A resina pura (CC e CE) sofre uma redução no módulo de elasticidade e tensão de rotura à flexão quando sujeita a longos períodos de exposição à temperatura de 150°C;
- 2) A inserção de 10% de fibra melhora a tensão de rotura e módulo de Young da resina pura. Tempos de exposição longos à temperatura influenciam o compósito da mesma maneira que a resina pura, isto é, verifica-se degradação das propriedades mecânicas, tensão e módulo à flexão, no caso de um maior tempo de exposição;
- 3) O módulo e tensão de rotura dos compósitos CA sofre redução quando é inserida fibra, levando a crer que a fibra funciona como um defeito e não como um reforço nos compósitos CAF. A redução pode estar relacionada com a fraca adesão da fibra à matriz (CA) e ao tamanho e quantidade inapropriada das fibras;

A repetição dos testes de flexão, com uma técnica de preparação de provetes mais cuidada, permitiu alcançar resultados mais estáveis, especialmente no cálculo do Módulo de Young à flexão. Obtiveram-se valores semelhantes para a tensão de rotura dos provetes CC e CE e, apesar de manterem o mesmo padrão de aparente degradação de propriedades, considera-se prematuro afirmar com certeza que se trata de uma realidade. Apesar das melhorias, o facto da secção do provete não ser ainda perfeitamente geométrica condiciona os resultados.

Quanto aos provetes CCF apresentam valores de tensão de rotura superiores aos da colofónia pura, tal como teoricamente se espera. Considerando o valor de cerca de 1 GPa, como sendo o mais próximo do real, verifica-se que a inserção de fibra, tanto no caso de 10% como no caso de 20%, piora o módulo de Young em relação à colofónia. Não é possível afirmar com certeza qual a razão deste comportamento. Uma possível interpretação pode ser a má adesão entre

matriz e fibra, à semelhança do que ocorreu com as amostras CAF, nas quais a fibra se comporta como um defeito, em vez de um reforço.

Relativamente aos testes de absorção de água, os resultados não se aproximam de uma situação esperada, na qual a massa de água absorvida tenderia para zero no decorrer do tempo. Neste caso existem duas possibilidades para justificar o ocorrido:

- 1) DEFEITOS DE FABRICO, tais como porosidades - sendo que à medida que a amostra fica mais saturada a entrada de água é facilitada e provoca-se a dilatação de amostra, ou
- 2) ERROS NA MEDIÇÃO - O processo de medição de absorção de água é um processo muito sensível, no qual a amostra deve ser completamente limpa e pesada menos de um minuto após ter sido retirada. A não garantia da repetibilidade do processo pode também estar na origem de divergências nas medições.

Para a caracterização da colofónia à tração é necessário desenvolver uma geometria que lhe confira maior resistência, especialmente na zona das amarras, que pode ser alcançada através de um aumento da largura. Deve ser tido em conta o comprimento total do provete, de modo a possibilitar a utilização do extensómetro. Estas indicações devem, contudo, atender a que se produza uma geometria representativa do material de modo a conseguir determinar as propriedades pretendidas.

Uma alternativa à abordagem dada poderia, por exemplo, consistir na realização de provetes com maior espessura, tracionados por meio de cavilhas (Figura 83).

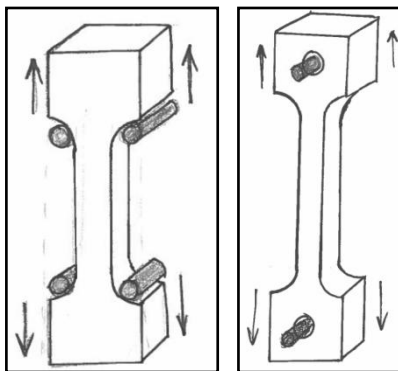


Figura 83 - Exemplos de geometrias e formas alternativas de tracionar o provete

6. TECNOLOGIAS APROPRIADAS

A forma como se pretende intervir no desenvolvimento de Malonguete passa pela percepção do conceito de desenvolvimento como um processo complexo de diversas fases e intervenientes. Pressupõe o alcance das necessidades básicas e do bem-estar. Mas afinal o que é necessário para alcançar o bem-estar em Malonguete?

O desencadear deste projeto deu-se pela demonstração, por parte da população de Malonguete, da vontade de aquisição de um mecanismo para moagem de cereais. No decorrer do projeto a resposta foi alterada devido à vulnerabilidade da população no que toca à insegurança alimentar.

O trabalho desenvolvido constitui apenas um pequeno passo no que toca ao caminho a percorrer para alcançar o bem-estar. Verdadeiramente o bem estar obtém pela garantia de necessidades básicas e pela redução da pobreza. A redução da pobreza, por sua vez, é já um assunto de imensa complexidade, com necessidade de intervenção de diversos agentes.

Do ponto de vista da Engenharia um contributo para alcançar o desenvolvimento, reduzindo a pobreza, pode passar pela introdução de tecnologias apropriadas e pela formação da população para a sua utilização.



Figura 84 – Esquematização da perspectiva holística da situação de Malonguete

No fundo o que se pretende é completar um ciclo, como demonstrado na Figura 84, pela integração de uma série de passos necessários à concretização da solução.

Neste sentido, este capítulo pretende funcionar como o remate na abordagem integrada de tecnologias apropriadas, apresentando uma série de ideias de carácter complementar. Assim sendo, apresenta-se, em primeiro lugar, um mecanismo de enrolamento filamental, como sugestão para o processamento do material compósito na produção de tubos para o sistema de irrigação. Relata-se também a construção do protótipo da bomba de corda, construído com o objetivo de provar o conceito. Por fim, são abordados outros temas que visam melhorar a solução proposta e a qualidade de vida da população de Malonguete.

6.1. Mecanismo de enrolamento filamental artesanal

No espectro desta dissertação, um contributo para a redução da pobreza pode passar pelo incentivo ao empreendedorismo através da inserção de tecnologias adequadas. A introdução de novas ferramentas tecnológicas, que permitam responder a situações identificadas pela própria população como problemas, é uma abordagem sensata, na medida em que a solução é desejada e não cairá em desuso. O desejo expresso em obter determinado item é indicador de existência de um mercado para o qual há clientes e deve, por esse motivo, ser tido em conta. Deste modo, a introdução de uma tecnologia adequada pode resultar num mecanismo dinamizador de microeconomias geradoras de receitas, contribuindo para a redução da pobreza.

O equipamento que se apresenta neste capítulo visa, por um lado dar uma resposta objetiva à forma de processamento do material compósito estudado e, por outro, apresenta-se como um acrescento à formação técnica da população de Malonguete, sendo que, na medida da sua vontade, poderá constituir uma forma de geração de receita.

O processo de enrolamento filamental

Numa interpretação muito simples do funcionamento de um mecanismo de enrolamento filamental, o processo pode ser descrito como a rotação de um mandril, disposto horizontalmente, no qual é enrolada fibra. O guia da fibra possui um movimento de translação alternado, que permite que a fibra seja enrolada ao longo de todo o mandril.

A impregnação da fibra é geralmente efetuada imediatamente antes do enrolamento, obrigando o filamento, na sua trajetória, a atravessar um banho de resina. Existem outras possibilidades, como o enrolamento de pré-impregnado, que dispensa a passagem do filamento pelo referido banho, sendo enrolado a seco e curado posteriormente.

O tensionamento da fibra é um aspeto muito importante do processo de enrolamento, uma vez que para diferentes níveis de tensões de fibra, se verificam diferentes estados de tensão no mandril. Deste modo, a tensão da fibra deve ser controlada durante todo o processo. O estado de tensão da fibra é ainda responsável pela respetiva razão volumétrica em cada ponto de enrolamento.

O ângulo de enrolamento define-se como o ângulo entre a direção da fibra e a linha de superfície do mandril paralela ao seu eixo de rotação. Podem ser utilizados vários ângulos, compreendidos geralmente entre 0 e 90°. Para ângulos muito baixos devem ser efetuados alguns arranjos no mandril de modo que a fibra não escorregue e se processe o enrolamento. Exemplos de alguns arranjos podem ser pinos ou rasgos no mandril.

O conceito

Pretende-se criar um mecanismo de fácil concepção, para aplicação em ambiente rural, que utilize, tanto quanto possível, materiais disponíveis localmente e permita o fabrico por enrolamento de dois produtos, nomeadamente tubos de diâmetro de 16 e 32 mm, necessários ao sistema de irrigação por gotejamento. O material amplamente disponível é a madeira, mais especificamente, *Afzelia quanzensis*, ou chanfuta²⁴, conhecida pela sua elevada dureza.

Uma das exigências deste mecanismo é que o acionamento seja manual e haja sincronização do movimento de rotação do mandril com o movimento transversal do guia da fibra. Para efeitos de acionamento foi escolhida uma simples manivela, que comanda a rotação do mandril. Ao movimento do mandril está associado um mecanismo de biela-manivela que provoca o movimento de translação do guia numa direção paralela à do seu eixo.

Para efetuar a transmissão do movimento de rotação para o sistema biela-manivela foi escolhido um sistema dotado de alguma flexibilidade, através da utilização de correias e polias, que, nas condições do projeto, parecem ser os elementos de maior facilidade de montagem e execução em madeira quando comparados, por exemplo, com engrenagens. São também elementos de elevada durabilidade, se projetados corretamente (Filho, 2009).

²⁴ Madeira preciosa, com elevado valor comercial e muito apreciada no mercado europeu.

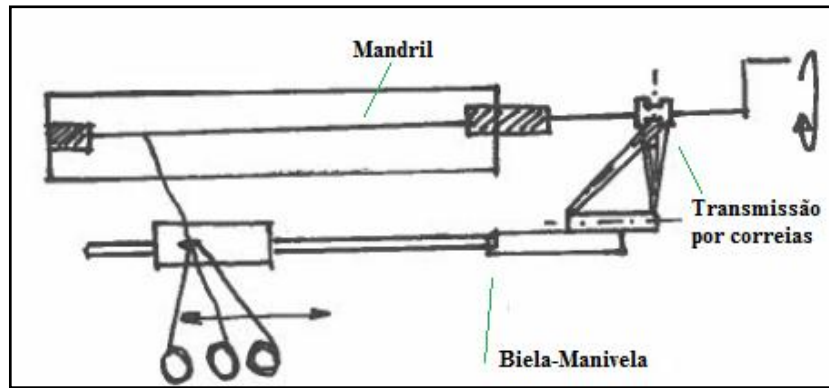


Figura 85 - Esboço explicativo da combinação do movimento de rotação com o movimento transversal (vista de cima)

Ângulo de enrolamento

Como referido anteriormente os ângulos de enrolamento podem variar, sendo que a sua escolha deve ser justificada de acordo com as solicitações a que o produto estará sujeito, e levando também em conta os materiais (matriz e fibra).

Um dos materiais mais estudados no enrolamento é a fibra de vidro, podendo-se fazer algumas considerações, cujo valor deve ser sempre reapreciado mediante a aplicação e de acordo com a matriz escolhida para o compósito.

Tabela 40 - Considerações acerca do ângulo de enrolamento da fibra

Ângulo de 0°	Apropriado para tubos solicitados à flexão e tensão/compressão axial.
Ângulo de 45°	O ângulo ideal para resistir a torção pura
Ângulo de 90°	Para resistência à pressão interna ou externa. Ajuda a obter superfícies cilíndricas e proporciona consolidação em enrolamento filamentar convencional.
Ângulos intermédios	Os tubos raramente têm apenas uma carga aplicada. Por este motivo devem ter a combinação de pelo menos dois ângulos de forma a suportarem cargas combinadas.

Neste caso, a pressão interna que a água exerce nos tubos está compreendida entre 1-2 mca (0,1-0,2 bar, 0,01-0,02MPa), uma solicitação muito reduzida. A combinação dos materiais, fibra de sisal e colofónia, não é muito explorada, pelo que não existem considerações sobre quais os ângulos mais apropriados.

As tentativas de produção de tubos relatadas nos trabalhos experimentais podem ser um bom indicador de um primeiro passo a seguir no projeto. Para ângulos próximos de 45° o tubo revela um aspeto relativamente resistente e apresenta estanquicidade. Como tal, e para efeitos de primeira abordagem, foi então escolhido um ângulo de enrolamento de 45°.

Para cada volta do mandril, o guia terá de deslocar-se $2\pi r \tan \theta$. Uma vez que o ângulo escolhido foi de 45° , conclui-se que o passo do enrolamento deverá ser igual ao perímetro exterior do tubo. A Tabela 41 reúne os dados iniciais relativos ao enrolamento sobre os dois tubos.

Tabela 41 – Dados iniciais para os dois tubos propostos

	Caso 1	Caso 2
Diâmetro [mm]	$\phi 16$	$\Phi 32$
Perímetro do tubo [mm]	~50	~100
Comprimento do tubo [mm]	1000	1000
Passo do olhal (p) [mm]	50	100
Ângulo de enrolamento ($^\circ$)	45	45

Para que se verifique um deslocamento do guia igual a um passo, durante uma rotação do mandril, é necessário que haja uma desmultiplicação de velocidades, havendo por isso necessidade de dimensionar corretamente os elementos de transmissão.

Elementos de transmissão de movimento

Sistema Biela-Manivela

Trata-se de um mecanismo que transforma um movimento circular num movimento de translação (Figura 86).

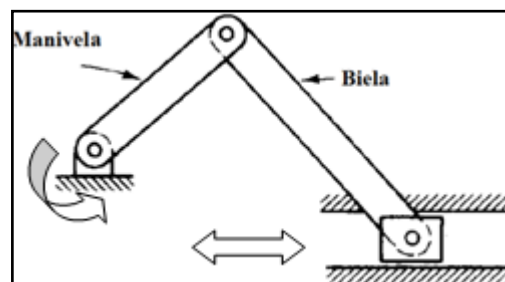


Figura 86 - Sistema biela-manivela

De modo a ser efetuado todo o curso da biela, a manivela deve ter metade do seu comprimento.

Correias e polias

A transmissão de movimento de rotação através de correias pode ser feita entre veios de eixos paralelos ou perpendiculares. No caso de eixos paralelos são aconselhadas relações de

transmissão não superiores a 6 e no caso de eixos perpendiculares (através de correias torcidas - *quarter twist belt*) as relações não devem ultrapassar 2,5.

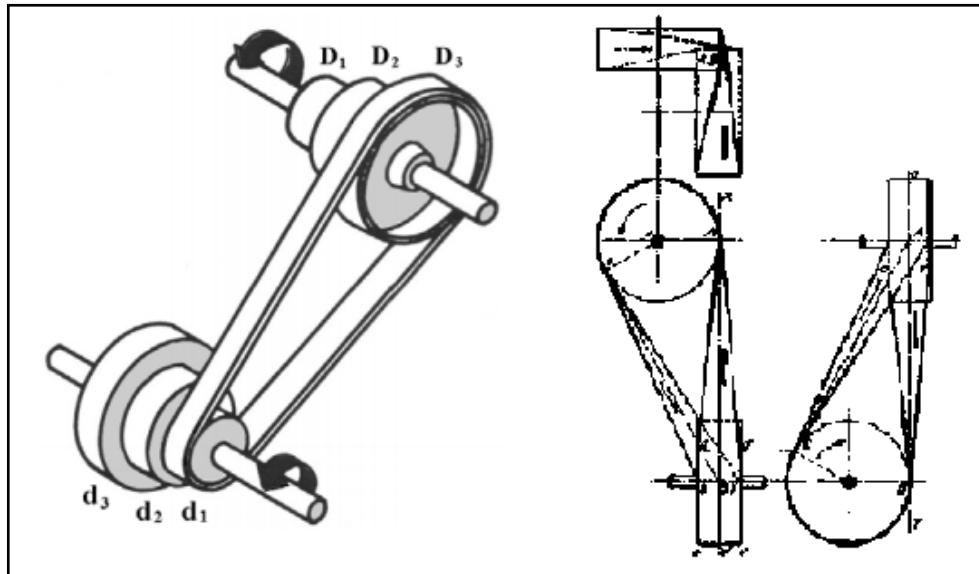


Figura 87 – À esquerda: transmissão de movimentos entre veios de eixos paralelos (Filho, 2009), À direita: transmissão de movimentos entre veios de eixos perpendiculares (Carlisle, 2007)

Existem inúmeras considerações a ser feitas acerca das correias e polias, relativas às suas características, aplicações e materiais de construção. Contudo, considerando o âmbito deste trabalho, será feita uma abordagem concisa e sucinta de acordo a responder apenas ao problema proposto. A Figura 88 apresenta as principais dimensões e fórmulas de cálculo de um sistema correia-polia, para correias em V.

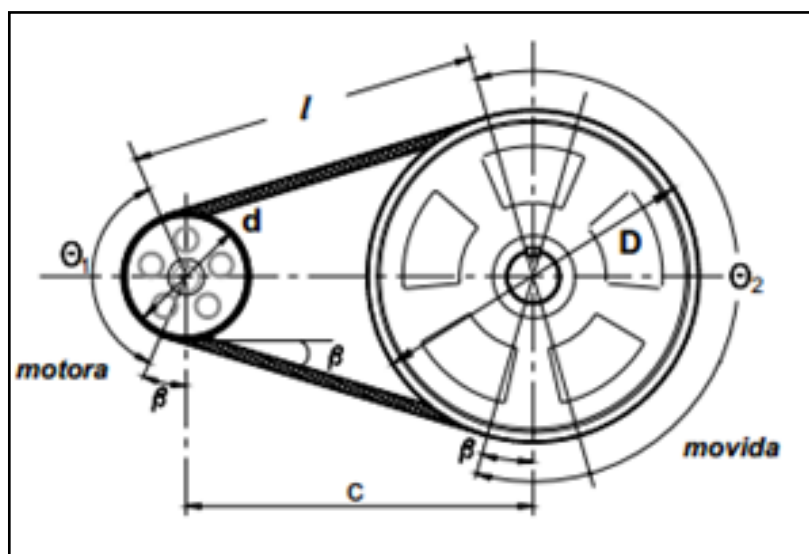


Figura 88 - Dimensões principais de um sistema correia-polia, para correias em V (Adaptado de (Filho, 2009))

$$\theta_{1,2} = \pi \pm 2 \cdot \sin^{-1} \left(\frac{D-d}{2 \cdot c} \right)$$

$$c = \frac{k + [k^2 - 32(D-d)^2]^5}{16}$$

$$k = 4 \cdot L_c - 2\pi(D+d)$$

$$L_c = 2 \cdot c + \frac{\pi}{2} (D+d) + \frac{(D-d)^2}{4 \cdot c}$$

$$l = \sqrt{(4 \cdot c - (D-d)^2)} + \frac{1}{2}(D\theta_{L_c} + d\theta_s)$$

Equação 11 – Determinação das principais dimensões de correias em V (Filho, 2009)

Onde:

 $\theta_{1,2}$, Ângulo de abraçamento (rad)

c, distância entre centros de polias (mm)

k, coeficiente de acerto polia-correia

 L_c , Comprimento da correia (mm)

L, distância entre centros da correia (mm)

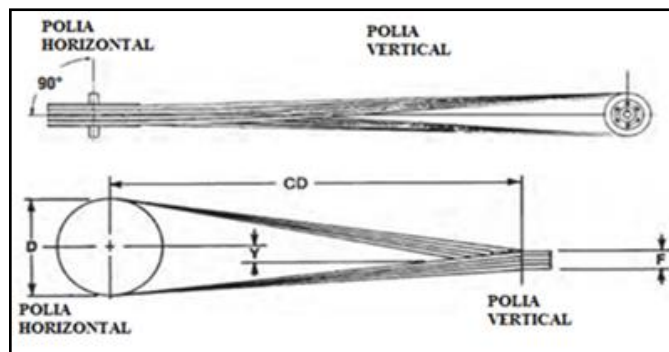


Figura 89 - Dimensões principais de sistema de correia-polia, para correias torcidas (Adaptado de (Carlisle, 2007))

$$CD = 5,5 (D + F)$$

Equação 12 - Cálculo da distância entre centros de polias torcidas

Onde:

CD, distância entre centros para polias torcidas (mm)

F, largura da polia (mm)

O cálculo dos diâmetros das polias é efetuado pela definição de relação de transmissão (Equação 13).

$$\frac{\text{rotação da polia motora}}{\text{rotação da polia movida}} = i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{d_2}{d_1} \quad \begin{cases} i < 3 \rightarrow c = \frac{(D+d)}{2} + d \\ i \geq 3 \rightarrow c = D \end{cases}$$

Equação 13 – Cálculo de diâmetro das polias (Filho, 2009)

Onde:

i , relação de transmissão

ω , velocidade de rotação (RPM)

Cálculos

Como verificado pela Tabela 41, para que se garanta o ângulo de 45° , a uma rotação do mandril (tubo) deverá corresponder um passo. O tubo que se pretende produzir tem comprimento de 1000 mm. Numa transmissão de 1:1, a uma rotação do mandril corresponderia um curso completo da biela, ou seja, esta percorreria a distância de 2000 mm. Deste modo, é necessário prever uma redução da velocidade de rotação da manivela, dependente do diâmetro do tubo.

A relação de transmissão será então de 1:40, no caso do tubo de diâmetro igual a 16mm. No caso do tubo de diâmetro igual a 32 mm, a relação de transmissão será de 1:20 (Tabela 42).

Tabela 42 - Relação de transmissão para os diferentes tubos

	Caso 1	Caso 2
Passo [mm]	50	100
Redução	$50/2000 = 1:40$	$100/2000 = 1:20$

A Tabela 43 apresenta a sequência de reduções escolhida. A seleção desta sequência teve como principal motivação a utilização de correias torcidas ($i \leq 2,5$) e a possibilidade de mantendo a mesma montagem, ser apenas necessário substituir uma polia para que seja possível efetuar o enrolamento de um tubo de diferente diâmetro.

Tabela 43 - Sequência de reduções para o enrolamento dos dois tubos

	Caso 1	Caso 2
Esquema de reduções	1:2	1:2
	1:4	1:2
	1:5	1:5

Seleção dos diâmetros e distâncias entre centros

Existe pouca informação acerca de propriedades mecânicas da chanfuta. No entanto, empiricamente, é aconselhado que o diâmetro mínimo de veios seja de 50 mm. Atendendo à aplicação em causa, não será indicada a utilização de rolamentos, devendo, contudo, garantir-se uma lubrificação adequada nos apoios dos veios. Deste modo, os diâmetros fixados para as

polias foram 50, 100, 200 e 250 [mm]. As distâncias entre centros para as transmissões de 2, 4 e 5 são, respetivamente, 580, 200 e 250 mm, como apresentado na Tabela 44.

Tabela 44 - Distância entre centros para as diferentes transmissões

Transmissão	Distância entre eixos, c [mm]	Comprimento da correia, L [mm]
i = 1:2 (d=50 mm, D= 100 mm) (correia torcida)	580	1240
i = 1:4 (d = 50 mm, D = 200 mm)	200	821
i = 1:5 (d =50 mm, D = 250 mm)	250	1011

Numa abordagem convencional, o comprimento da correia seria acertado para um tamanho normalizado e a distância entre eixos seria calculada novamente. Neste caso, uma vez que se pretende utilizar materiais alternativos, este aspeto não foi tido em conta, sendo um aspecto a considerar na fase de implementação.

Protótipo

As imagens apresentadas de seguida mostram um protótipo do mecanismo de enrolamento filamental artesanal.

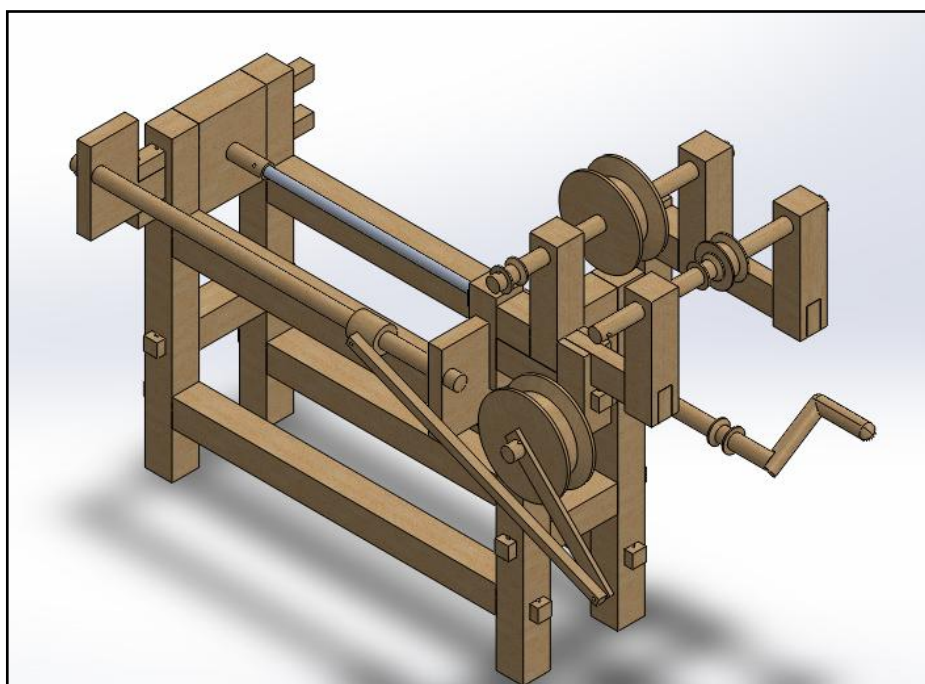


Figura 90 – Protótipo do equipamento de enrolamento filamental acionado manualmente

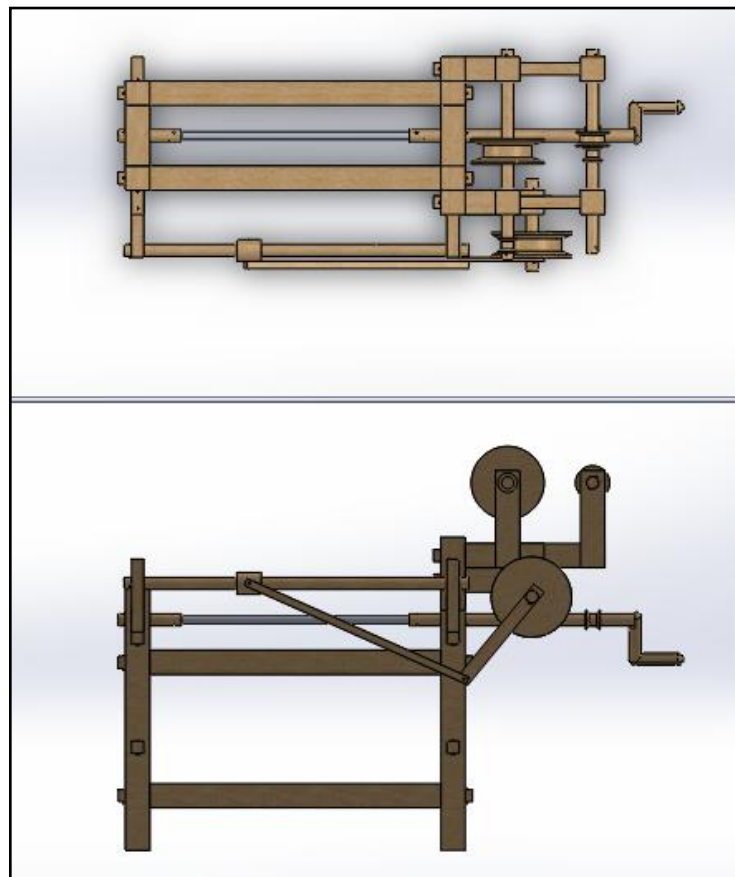


Figura 91 - Vista de cima e lateral

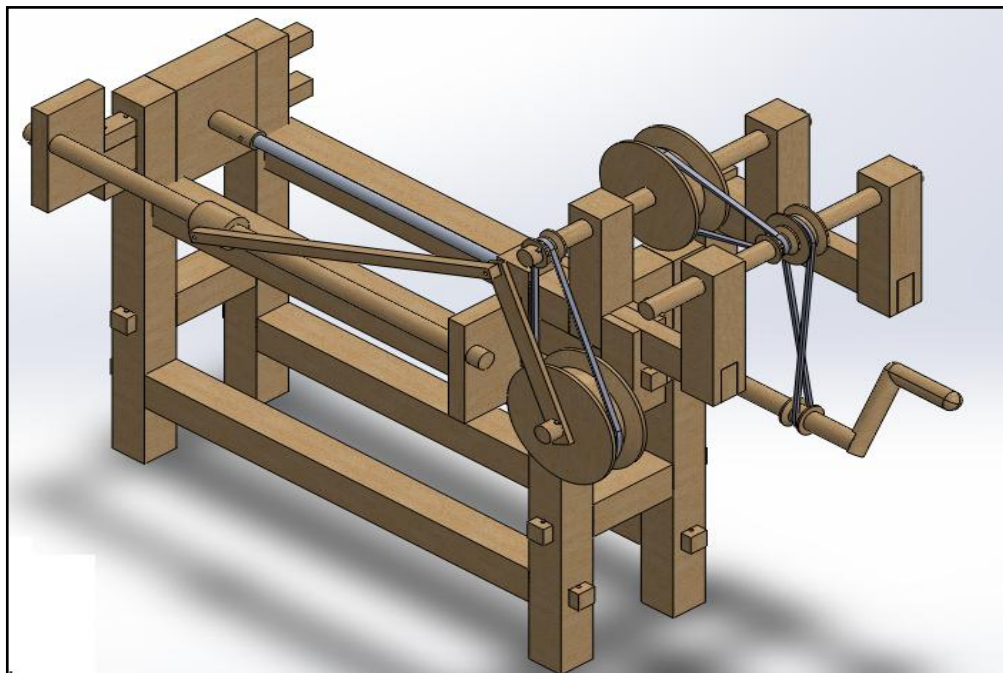


Figura 92 - Representação do protótipo com correias

Alternativas para a transmissão de movimento

Os elementos de transmissão, apresentados no protótipo, em particular as correias convencionais, não são de fácil aquisição em Malonguete. As correias mais antigas eram fabricadas em couro, sendo esta uma possível alternativa. Aconselha-se a utilização de correias em couro apenas para transmissões entre eixos paralelos (Filho, 2009).

Outra sugestão para a transmissão de movimento é a utilização de uma corda, com nós, ou outro tipo de obstáculo, espaçados entre si de um determinado passo e a execução de entalhes na polia, reduzindo os problemas relacionados com o escorregamento.

Aconselha-se que o ângulo de abraçamento na polia menor seja superior a 120° (Filho, 2009). Uma decisão acerca do posicionamento de entalhes pode ser tomada com base nesta recomendação colocando três entalhes na polia menor (Figura 93).

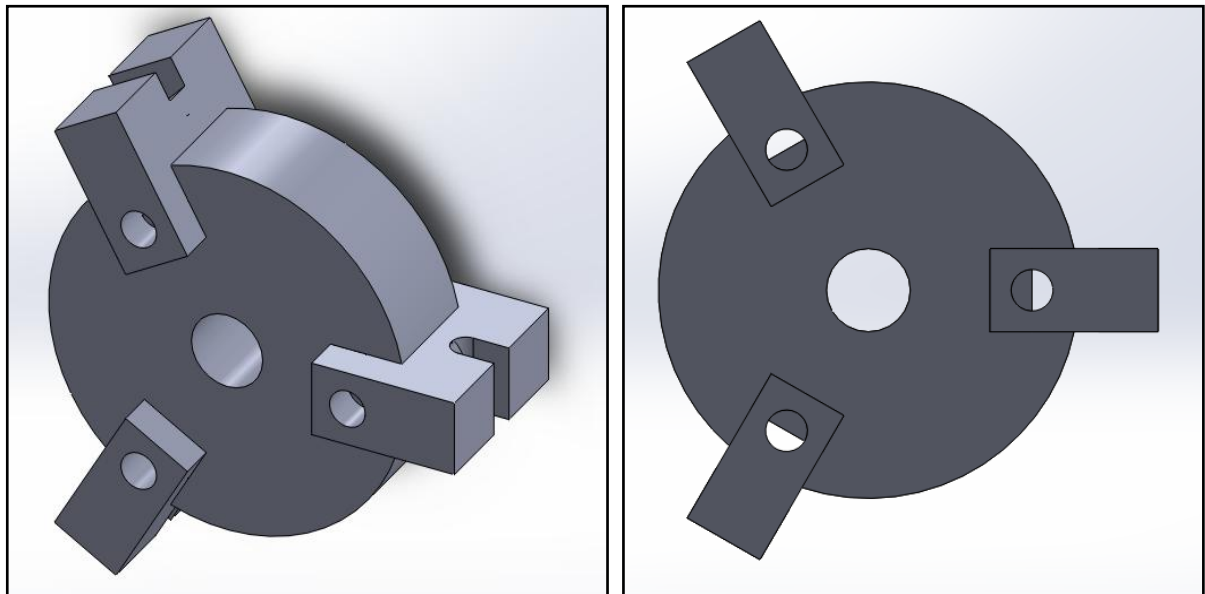


Figura 93 - Polia de diâmetro menor (50 mm) com entalhes

Para calcular o passo entre entalhes basta estudar a relação entre os perímetros das polias movidas e motora. A polia menor é motora, tendo diâmetro de 50 mm e perímetro de 157 mm, o espaço entre entalhes é de 52 mm. A relação com as restantes polias apresenta-se na

Tabela 45 – Número de entalhes nas polias movidas

Relação de transmissão em relação à polia menor	Diâmetro da polia [mm]	Perímetro [mm]	Número de entalhes
1:2	100	314,16	6
1:4	200	628,32	12
1:5	250	785,4	15

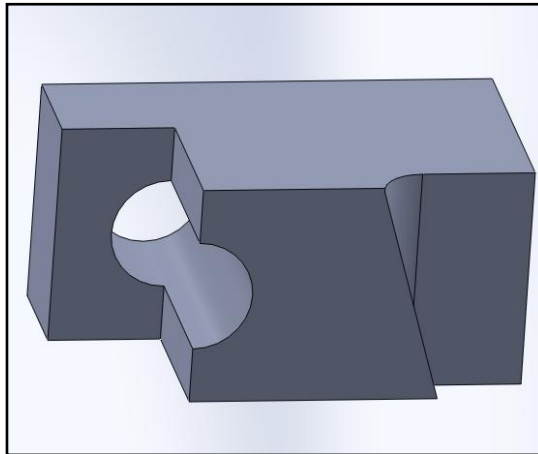


Figura 94 - Detalhe do entalhe (vista em corte)

Funcionamento e descrição do processo

O funcionamento do equipamento é simples: a fibra é conduzida pelo guia, fixada à biela. É enrolada a seco, e a impregnação da resina é efetuada durante o enrolamento, com recurso a um pincel. Pode também efetuar-se uma “pré-impregnação” das fibras antes de se proceder ao enrolamento.

Auto-avaliação do conceito proposto

O equipamento apresentado apresenta algumas limitações, tais como: 1) Permite enrolar tubos de comprimento reduzido, 2) Não possibilita linearidade do movimento, devido às diferenças de velocidade do sistema biela-manivela, resultando numa distribuição de fibra não uniforme ao longo do tubo, 3) o ângulo de enrolamento que utiliza pode não ser o mais adequado, 4) a utilização de polias muito pequenas pode diminuir a vida das correias devido às tensões provenientes da flexão da correia em torno da polia. Quanto menor a polia, maior a tensão, podendo-se verificar a rotura da correia por fadiga.

6.2. Construção do protótipo de bomba de corda

Foi construído um protótipo da bomba de corda e testado o seu funcionamento. Utilizaram-se anilhas de borracha como vedante, posicionadas entre anilhas metálicas, espaçadas por um passo de 15 mm numa corda de nylon e uma roda de bicicleta acionada por uma manivela,

suportada num apoio metálico, numa mesa de madeira. Neste caso o acionamento foi manual, uma vez que a ideia da construção do protótipo residia unicamente na prova do conceito e a profundidade era menor.

Em relação aos materiais utilizados, algumas substituições poderiam ser efetuadas de modo a tornar o mecanismo mais eficiente e mais fácil de reproduzir em Malonguete. Poderia substituir-se o suporte metálico por um suporte de madeira, e eventualmente da roda de bicicleta por uma roda em madeira também. Os restantes materiais, por se encontrarem em permanente contacto com água, devem oferecer maior estabilidade química, pelo que é aconselhável a utilização, por exemplo, de PVC.

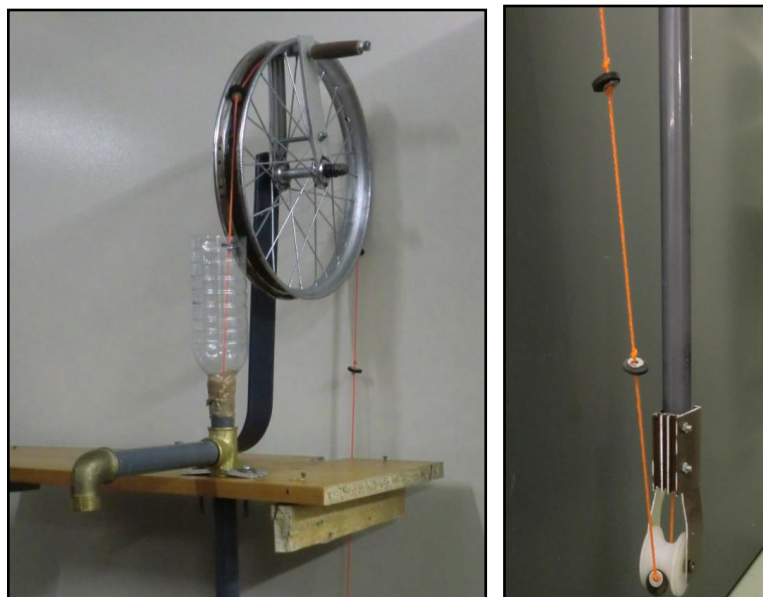


Figura 95 – Protótipo da bomba de corda

Verificou-se que seria necessário efetuar alguns ajustes, nomeadamente no que toca a prevenir o escorregamento da corda na roda. Neste caso, a espessura da borracha que reveste o aro da roda não se mostrou suficiente para garantir o atrito, e por esse motivo, por vezes, a corda escorregava. Para melhorar este aspeto poderia ser melhorada a superfície de contacto, colocando uma superfície maior de borracha, ou poderiam ser incorporados entalhes na roda, à semelhança do que foi ilustrado pela Figura 93 e Figura 94.

Ainda assim, o fluxo de água que se consegue obter é considerável e, por esse motivo, pode-se concluir que o conceito funciona.



Figura 96 - Prova do conceito

Outro detalhe prende-se com a diferença entre profundidades do protótipo para o caso real. Na implementação deste modelo para maiores profundidades, sugere-se a utilização de uma viga, à qual se deve acoplar o tubo, por meio da utilização de abraçadeiras, de maneira a garantir a sua verticalidade.

6.3. Redução de custos do sistema de irrigação

Filtros, gotejadores e fertilizantes são alguns dos itens mais dispendiosos e de difícil aquisição para o sistema de irrigação por gotejamento, em Malonguete. No âmbito da utilização de tecnologias apropriadas tornou-se, então, necessária a busca de alternativas para estes requisitos.

Filtro

A filtragem nos sistemas de rega gota-a-gota é essencial, sobe pena de que possa ocorrer entupimento dos tubos ou gotejadores. O sistema, conforme concebido neste projeto, requer que os reservatórios sejam reabastecidos todos os dias, não chegando a haver armazenamento durante longos períodos de tempo. Assim sendo, a filtragem pode ser realizada antes do abastecimento eliminando a necessidade de instalação de mais um componente. A água de Malonguete apresenta uma cor turva e alguma salubridade.

De uma forma geral substâncias iônicas ou polares como ácidos, alcoóis ou sais são solúveis em água. O filtro de areia é uma alternativa de baixo custo que pode ser executada no caso da

água não estar contaminada quimicamente, por exemplo, por metais pesados, o que exigiria outro tipo de filtragem. O princípio de funcionamento de um filtro deste género consiste em executar a passagem de água por diferentes camadas de granulometrias distintas de areia e cascalho. As partículas sólidas da água, de origem orgânica, são capturadas pelas areias por mecanismos físicos de adesão como ligações de Van Der Waals.

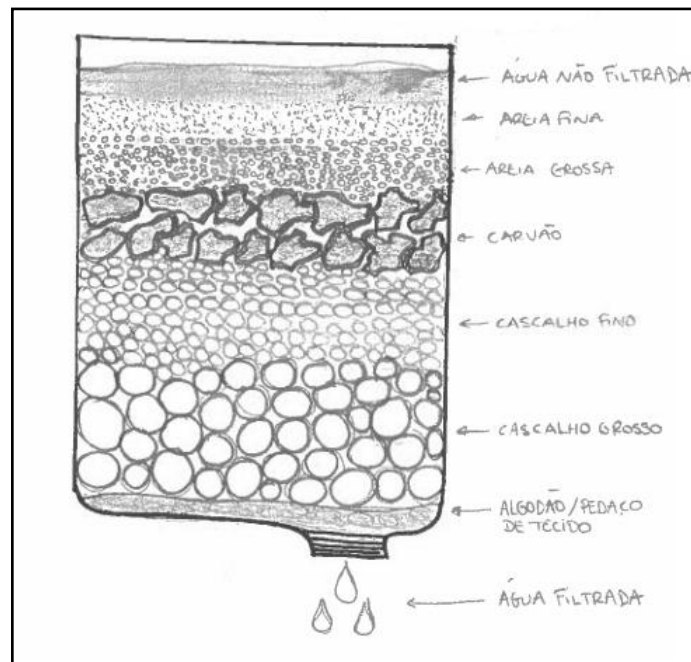


Figura 97 - Esquema de um filtro de areia

Gotejadores

Os gotejadores são um dos elementos que mais contribuí para o elevado custo do sistema de irrigação por gotejamento, contudo são indispensáveis para o uso eficiente de água. Comercialmente, existem dois tipos de gotejadores: in-line e on-line, gotejadores incorporados no tubo ou gotejadores colocados no exterior do tubo, sendo que dentro destes dois géneros existem ainda soluções de gotejadores capazes de regular o caudal (gotejadores autocompensantes).

Alternativas aos gotejadores convencionais têm sido estudadas, especialmente no campo do desenvolvimento de pequenas localidades rurais (Figura 98)

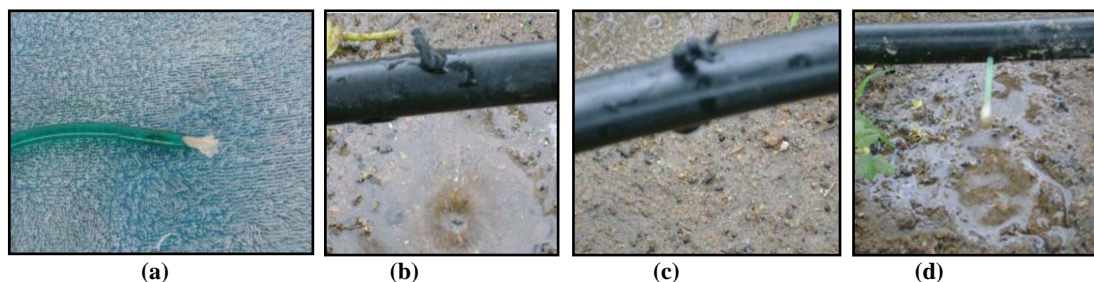


Figura 98 - Emissores alternativos (a) micro tubo com corda de nylon na ponta (Hazeltine, 2003) (b) emissor efetuado com prego quente e corda de nylon na ponta (b) emissor efetuado com prego frio e corda de nylon na ponta (c) emissor com cotonete (Tamele, 2007)

A Tabela 46 apresenta resultados de medições de caudais dos gotejadores alternativos. As medições consistiram em medir o tempo que 100 ml de água demoram a ser evacuados pelo gotejador.

Tabela 46 - Caudais de gotejadores alternativos (adaptado de (Tamele, 2007),(Hazeltine, 2003))

	Microtubo com corda de nylon	Método do prego quente	Método do prego frio	Cotonete	Microtubo PE utilizado no dimensionamento
Caudal médio do gotejador (l/h)	2,15	9,04	0,3	1,04	3,23
Desvio padrão	0,5 (23%)	2,55 (28%)	0,18 (60%)	0,48 (46%)	0,40 (12%)

Também foram testadas alternativas para gotejadores artesanais no Centro de Pesquisa de Agronomia da África do Sul (ARC, 2006).

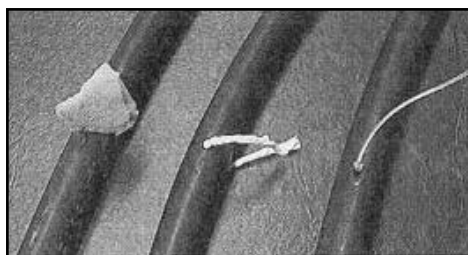


Figura 99 - Gotejadores alternativos (ARC, 2006)

Na Figura 99 são apresentados três gotejadores alternativos. À esquerda, pode observar-se um gotejador, obtido pela inserção de esponja, de secção de um centímetro, num orifício de 4 mm, perfurado na parede de um tubo de polietileno.

No gotejador b) foi efetuado um furo de 2 mm de modo a atravessar os dois lados do tubo, através do qual se fez passar 30 cm de fio de sisal.

O último gotejador, efetuado de forma semelhante ao gotejador com fio de sisal, utiliza parte de uma linha de pesca de nylon com um diâmetro ligeiramente menor do que o dos furos.

Os gotejadores foram testados de forma a simular o seu funcionamento. O teste consiste na medição do caudal para o tempo de operação de uma hora. Concluiu-se que o rendimento neste tipo de gotejadores é pior, quando comparado com gotejadores comerciais, não havendo registos dos caudais destes gotejadores (ARC, 2006).

Fertilizantes

O sucesso do sistema de irrigação pressupõe a utilização de fertilizantes para uma boa produtividade da horta. No entanto, a aquisição de fertilizantes exige um investimento, e no caso de Malonguete, a dificuldade é ainda acrescida pelo isolamento geográfico da aldeia, obrigando a percorrer longas distâncias para obter o produto. Neste sentido, a compostagem, um processo que utiliza resíduos orgânicos para a produção de fertilizantes naturais, constitui uma resposta eficaz.

A compostagem é um método para o aproveitamento dos resíduos orgânicos. Define-se como um processo aeróbio controlado, desenvolvido por uma população diversificada de microorganismos, que ocorre em duas fases distintas: numa primeira fase, quando ocorrem as reações bioquímicas mais intensas e, posteriormente, ocorre o processo de humificação.

Fontes de material orgânico para compostagem

Aos materiais vegetais frescos e verdes estão associados normalmente altos níveis de azoto, devido à presença de clorofila. Materiais secos e acastanhados, pela ausência de clorofila, são considerados menos ricos. O fenómeno de amarelecimento de folhas está associado à remobilização do azoto das folhas para outras partes da planta.

Na construção de uma pilha de compostagem é frequente utilizar uma mistura de materiais ricos em carbono com outros ricos em azoto. O carbono é responsável por fornecer a matéria orgânica e a energia para a compostagem e os materiais nitrogenados aceleram o processo de compostagem, uma vez que os microorganismos necessitam de azoto para se proliferarem.

São necessários essencialmente cinco intervenientes para o processo de compostagem: 1) um elemento verde, produtor de azoto, 2) um elemento castanho, produtor de carbono, 3) ar, 4) água e 5) terra. O valor recomendado de relação entre carbono e azoto (C:A) é 30:1 (Garcez, Sartori, & Oliveira, 2008). A Tabela 47 apresenta a relação C:A de alguns resíduos de fácil obtenção em Malonguete.

Tabela 47 – Relação C:N para resíduos orgânicos (adaptado de (Garcez, Sartori, & Oliveira, 2008))

Material	Relação de massa Carbono:Azoto (C:A)
Esterco de vaca	20:1
Restos de fruta	35:1
Esterco de cavalo	60:1
Folhas	60:1
Jornal	50-200:1
Folhas de pinheiro	60-110:1
Serrim/Madeira	600:1
Espigas de milho	60:1
Palha	80-100:1
Aparas de vegetais	12-20:1

Preparação das pilhas

Pilha de compostagem é a denominação dada ao local onde se dá o processo de compostagem. Pode ser efetuada diretamente no solo, sendo constituída por camadas de restos vegetais, intercaladas com camadas de esterco, numa proporção de 3:1, respetivamente.

A pilha deve ter dimensões da aproximadamente $3 \times 4 \times 1,5-1,8$ [m³]. Inicia-se a construção das pilhas distribuindo-se uniformemente os resíduos vegetais, de preferência bem fragmentados, numa camada de 15 a 25 cm de espessura, o material deve ser humedecido, colocando-se esterco numa camada de cinco a sete cm de espessura, que também deve ser humedecido. Esse procedimento deve ser repetido alternadamente até se atingir uma altura entre 1,5 a 1,8 metro. Alturas inferiores não apresentam um volume suficiente para manter uma temperatura adequada, enquanto alturas superiores acumulam muito peso, provocando compactação e, consequentemente, comprometendo a aeração. A última camada deve ser de resíduos vegetais para melhor proteção contra águas de chuva, embora o ideal seja uma proteção espécie de capim.

O material deve ser revolvido a cada cinco dias, nos primeiros quinze dias. Após os primeiros quinze dias será suficiente um revolvimento a cada dez dias. Considera-se suficiente um total

de oito revolvimentos. Essa operação acelera a compostagem, além de impedir o mau cheiro e repelir as moscas.

6.4. Breves sugestões para melhoria do bem estar

6.4.1. Obtenção de água potável

A obtenção de água potável é um ponto essencial no bem estar de qualquer ser humano. Em locais e climas como o do Norte da Província de Gaza, este é um tema muito importante, na medida em que o acesso à água é escasso.

Em Malonguete, a população, de uma forma geral, procura água no rio. É comum escavar-se um buraco, que pode ter profundidades de até 5 m, e transportar a água em bidões, de cerca de 25 l. Esta é uma prática extremamente laboriosa, delegada, por defeito, a mulheres e crianças.

Nesta secção apresentam-se algumas formas de obtenção ou transporte de água de forma alternativa.

Condensador solar

O condensador solar eleva a temperatura do ar e do solo debaixo de um lençol de plástico até o ar ficar saturado de vapor de água. O ar condensa na superfície mais fresca do plástico e, lentamente, escorre, pingando, para um balde. Após o pôr do sol, o plástico arrefece rapidamente, enquanto a temperatura do solo permanece relativamente elevada, pelo que o vapor de água continua a condensar-se na superfície inferior do plástico. Nestas condições pode-se obter até um litro de água por dia.

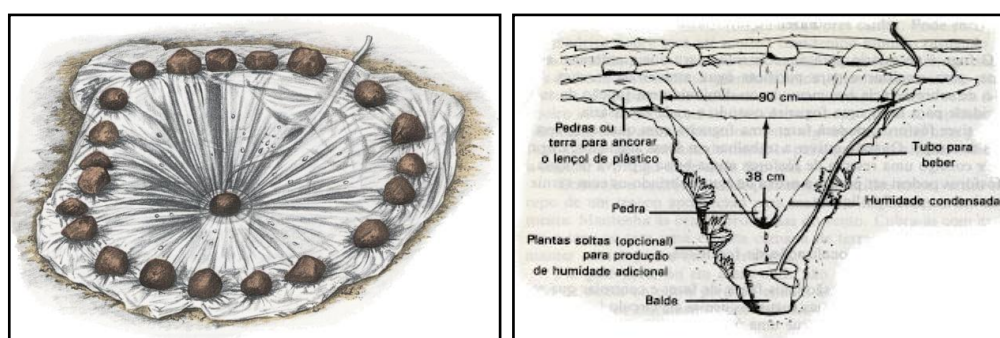


Figura 100 - Condensador de água

Saco de transpiração

As árvores podem atrair a humidade desde uma profundidade de 15 m. Uma forma de recolha de água pode ser através de um saco amarrado aos ramos verdes e saudáveis da árvore. A

evaporação das folhas produzirá a condensação no saco. Manter a boca do saco para cima e uma ponta para baixo para recolher a água, ou atam-se um peso ao fundo do saco, de modo que o ramo fique inclinado. A água escorrerá assim para o fundo do saco.

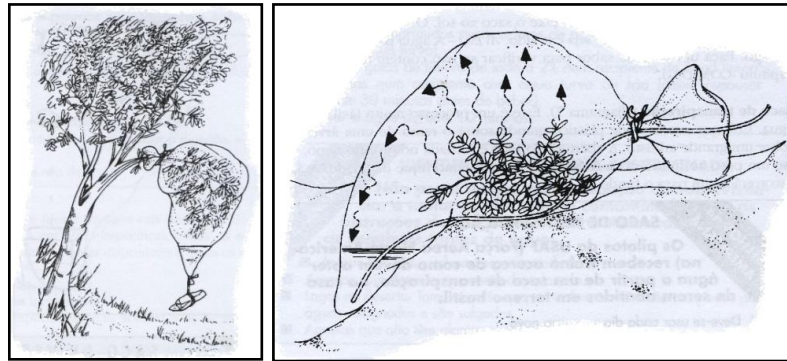


Figura 101 – Saco de transpiração

Alternativas para o transporte de água

Um fator que contribuía para o aumento do bem estar seria a redução do esforço efetuado por mulheres e crianças no transporte de água, tanto para consumo doméstico como para agricultura. O *Hippo Roller*, inventado por dois Sul-Africanos em 1991, é uma aplicação de uma Tecnologia Apropriada cujo objetivo é reduzir os esforços associados à obtenção de água, em comunidades rurais. Foi premiado, em 1997, com o prémio de *Melhor design para o Desenvolvimento*, pela SABS (South African Bureau of Standards and its Design Institute).

Em novembro de 2012, cerca de 44 mil *Hippo Rollers* foram distribuídos em 21 países, beneficiando diretamente mais de 300 000 pessoas. O financiamento para este projeto ocorre por meio de patrocínios ou programas de responsabilidade social de empresas.

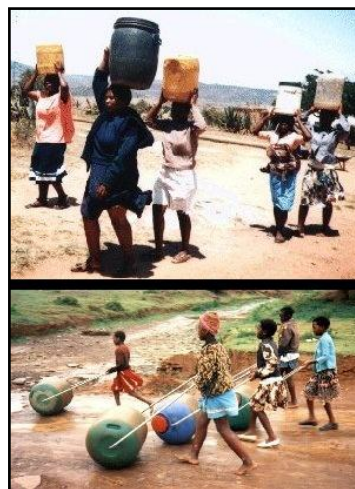


Figura 102 - Hippo Roller

7. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Ao longo deste trabalho, foi sendo desenvolvida uma consciência pouco convencional sobre o papel da Engenharia Mecânica para o Desenvolvimento Sustentável.

Uma observação muito importante acerca do trabalho desenvolvido relaciona-se com a multidisciplinaridade das áreas abordadas, sendo que cada uma representa um papel crucial para atingir o objetivo principal: a obtenção de uma solução integrada.

A solução integrada obriga a visualizar o problema como uma questão real e complexa, na qual se devem ponderar com cautela as intervenções. Logo, há que ser sensível à interação de três dos elementos imprescindíveis na aplicação de Tecnologias Apropriadas: a utilização de materiais disponíveis localmente, a integração da vontade do utilizador na conceção do conceito e a garantia absoluta da qualidade tecnológica.

A solução sugerida por meio da combinação da bomba de corda e sistema de irrigação por gotejamento é funcional; contudo, a utilização de materiais locais na sua concepção é um assunto que merece um estudo mais aprofundado. Por outras palavras, a solução pode representar uma forma de melhorar a qualidade de vida; contudo, inicialmente é necessária intervenção externa, não se tratando, por isso, de uma resposta perfeitamente sustentável.

Relativamente aos trabalhos futuros, podem ser sugeridas diversas orientações: um caminho interessante para o desenvolvimento sustentável é, obviamente, a continuação do estudo da colofónia e a sua caracterização mecânica mais rigorosa. O potencial deste material para Moçambique pode ser representativo. No entanto, para Portugal, pode ser ainda mais promissor, dado o histórico nacional na produção de resina de pinheiro e o seu potencial florestal.

Alternativamente, para o caso de estudo, pode ser estudada a substituição de colofónia por outras resinas potencialmente disponíveis, tais como a resina do cajueiro, ou a goma arábica. Um exercício interessante poderia ser o estudo de novas formas de processamento de materiais compósitos em meio rural.

BIBLIOGRAFIA

- Agnoli, T. P., & Zanchetta, B. (2009). *Preparação e caracterização de micro/nanopartículas de goma de cajueiro*. Obtido em 23 de Junho de 2013, de <http://www.prp.unicamp.br/pibic/congressos/xviiiicongresso/paineis/072462.pdf>
- Alley, W., Reily, T., & Franke, O. (1999). Sustainability of Ground-Water Resources.
- ARC. (20 de Junho de 2006). *Agriculture Research Centre*. Obtido em 27 de Junho de 2013, de <http://www.arc.agric.za/home.asp?PID=1&ToolID=2&ItemID=1868> Irrigation/Besproeiing:
- Bader, M. (2000). Polymer composites in 2000: structure, performance, cost and compromise. *Presented at Microstructure of Composite Materials, 3rd and 4th April 2000*. V, St John's College, Oxford: Royal Microscopical Society.
- Baillie, C. (2004). *Green composites Polymer composites and the environment*. Cambridge, England: WOODHEAD PUBLISHING LIMITED.
- Barcelos, L., & Silberstein, E. (2012). *Revista Darcy*.
- Baumann, E. (2011). *Handpump technologies - Low Cost Hand Pumps, Field Note No 2011-3*. RWSN.
- Bisanda, E. (1993). The manufacture of roofing panels from sisal fibre reinforced composites, No.369-380. *Journal of Materials Science*, 38, pp. 1-11.
- Bisanda, E., & Ansell, M. (27 de Junho de 1992). "Properties of Sisal-CNSL Composites.". *Journals of Materials Science*.
- Blewitt, J. (2008). *Understanding Sustainable Development*. UK and USA: Earthscan.
- Brouwer, C., Goffeau, A., & Heibloem, M. (1985). *Irrigation Water Management: Training Manual No. 1 - Introduction to Irrigation*. FAO Land and Water Development Division.
- Buitenhuis, A. J., Zelenika, I., & Pearce, J. M. (2010). *14th Annual National Collegiate Inventors and Innovators Alliance Conference: Open, 1-12*. . Open design-based strategies to enhance appropriate technology development. In: Proceedings of the .
- Caetano, M. J. (19 de Fevereiro de 2011). *Ciência e Tecnologia da Borracha*. Obtido em 06 de Junho de 2013, de CTB: <http://www.ctb.com.pt/>

- Carlisle, P. T. (2007). *CARLISLE ENGINEERING GUIDE FOR INDUSTRIAL V-BELT DRIVES*. Obtido em 25 de Junho de 2013, de http://www.c-rproducts.com/downloads/pdfs/Industrial_vbelt_drives_design%20_guide.pdf
- Casaril, A., Rovaris Gomes, E., Roberto Soares, M., Celso Fredel, M., & Ali Al-Qureshi, H. (2007). *Análise micromecânica dos compósitos com fibras curtas e partículas*. Rio de Janeiro: Universidade Federal de Santa Catarina.
- Cavaco, A. (7 de Março de 2013). *Terracota do Algarve*. Obtido em 5 de Março de Dezembro de 2012, de <http://terracotadoalgarve.com/en>
- Clayton, 2., & Pattent, C. &. (2001).
- CMMAD. (1987). *Relatório de Brundtland*. Nova York.
- Correia, M. (2000). *Le pisé d'Alentejo, Portugal. Dissertação de mestrado sob orientação de Hubert Guillaud*. Grenoble, França: DPEA-Terre, CRATerre, École d'Architecture de Grenoble.
- Critchley, W., & Siegert, K. (1991). *A Manual for the Design and Construction of Water Harvesting Schemes for Plant Production*. Rome: FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS.
- Cumbi, J. S. (2003). *Avaliação da resposta de variedades de tomate á aplicação de insecticida*. Estação agrária de Chokwe: Instituto nacional de investigação agronómica.
- Davim, J. (1998). *Tecnologia dos Materiais Plásticos*. Lisboa: 1ª ed., Universidade Aberta.
- DesignBoom. (2009). *Design Boom*. Obtido em 28 de Junho de 2013, de <http://www.designboom.com/>
- Dittenber, D. B., & GangaRao, H. V. (2011). Critical review of recent publications on use of natural composites in infrastructure. *Composites: Part A* .
- Erpf, K. (2005). *The rope pump concept*. 2005: Skat Consulting RWSN.
- Esau, K. (1974). *Anatomia das plantas com sementes*,. p. 312.
- Estatat, R. d. (Edição 2005). *Perfil do distrito de Chicualacuala, Provincia de Gaza*.
- EUROCHEMICALS PORTUGAL, S. (Junho de 2011). FICHA DADOS SEGURANÇA RESINA. Viana do Castelo, Portugal: EUROCHEMICALS SA, PORTUGAL.
- EWB. (2009). *Hand Powered Water Pumps*. Engineers Without Borders.

- FAO. (2013). *Food And Agriculture Organization*. Obtido em 15 de Junho de 2013, de <http://www.fao.org/economic/futurefibres/fibres/sisal/en/>
- Faruk, O., Biedzki, A. K., Fink, H.-P., & Sain, M. (2011). Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000-2010. *Progress in Polymer Science* .
- Feitosa Rodrigues, J., Célia M. de Paul, R., & M. O. Costa, S. (1993). Métodos de Isolamento de Gomas Naturais: Comparação Através da Goma do Cajueiro. *Revista Polimeros: Ciencia e Tecnologia* .
- Filho, F. d. (2009). *Elementos de Transmissão Flexíveis*. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Galiani, P. D., Malmonge, J. A., Santos, D. P., & Malmonge, L. F. (2007). Compósitos de Borracha Natural com Polianilina. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, , , vol. 17 (núm. 2, pp. 93-97).
- Garcez, T. B., Sartori, R. H., & Oliveira, E. C. (2008). *COMPOSTAGEM*. Piracicaba – São Paulo: UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA LUIZ DE QUIEROZ PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS.
- Gartner, E. (2004). *Industrially interesting approaches to "low-CO2" cements* (Vol. Vol.34).
- GM, G. d. (2010). *Plano Estratégico de Desenvolvimento*. Distrito de Chicualacuala.
- Harrison, L. E. (1993). *Who Prospers: How Cultural Values Shape Economic and Political Success*.
- Hazeltine, B. (2003). *Field Guide of Appropriate Technology*.
- Ibraimo, N. A. (2005). *Estratégias de gestão de água em situações de suficiência e insuficiência de água para a produção de tomate e repolho no regadio de Chókwè*. Maputo, Moçambique: UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE, FACULDADE DE AGRONOMIA E ENGENHARIA FLORESTAL DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA RURAL.
- ICRISAT. (2013). *The African Market Garden, Advanced Horticulture for the Poor*. Obtido em 2013 de Março de 26, de AMG: http://www.globalhort.org/media/uploads/File/Publications/AMG_Fliyer.pdf

- iDE, (. D. (2003). *TECHNICAL MANUAL for IDEal micro irrigation systems*. Lakewood, USA.
- INEOS. (Fevereiro de 2011). *H19G-01 Polypropylene Homopolymer*. Obtido em 03 de 06 de 2013, de <http://www.ineos.com/Show-Documents/?Grade=H19G-01&BU=INEOS%20%20%26%20P%20USA&DocumentType=Technical%20Data%20Sheet>
- INGC. (2009). *Instituto Nacional de Gestão de Calamidades*. Obtido em 15 de Março de 2013, de <http://www.ingc.4u.co.mz/>
- Jones, D. (2007). *Review of existing bioresins and their applications*. UK: Forestry Commission Industry Advisor.
- Kay, M., & Brabben, T. (2000). *Treadle pumps for irrigation in Africa, How treadle pumps work*. Rome: FAO.
- Kennedy, J., & White, C. (1983). *Bioactive Carbohydrates: In Chemistry, Biochemistry and Biology*. Inglaterra: Ellis Horwood Ltda.
- Li, Y., Mai, Y.-W., & Ye, L. (2000). *Sisal Fibre and its Composites: A Review of Recent Developments, Composites Science and Technology*, 60(11): 2037—2055.
- Liniger, H., Mekdaschi Studer, R., Hauert, C., & Gurtner, M. (2011). *Sustainable Land Management in Practice, Guidelines and Best Practices for Sub-Saharan Africa*. TerrAfrica.
- Marques, A. T. (2011). *MATERIAIS COMPÓSITOS: Conceber e fabricar para durar*. Porto: FEUP.
- MayaPedal. (2013). *MayaPedal*. Obtido em 15 de Março de 2013, de <http://www.mayapedal.org/>
- McSweeney, C. (2008).
- Monteiro, D. F. (2005). *COMPORTAMENTO À FRACTURA E À FLUÊNCIA DE BETÕES POLIMÉRICOS*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Nilsson, A. (1988). *Groundwater dams for small-scale watersupply*. London: IT Publications.
- NOKERO. (2011). *NOKERO*. Obtido em 14 de Março de 2013, de <http://nokero.com/about/ngo-partners>

- Nunes Carvalho, G. (2008). *Estudo de soluções para uma escola em blocos de terra crua: Camabatela*. Universidade de Aveiro, Departamento de Engenharia Civil.
- O.B., M., & S.D., T. (2010). *Macro-catchment rainwater harvesting systems: challenges and opportunities to access runoff* (Vol. Volume 7). Journal of Animal & Plant Sciences,.
- Oberg, E., Jones, F. D., Horton, H. L., & Ryffel, H. H. (2000). *Machinery's Handbook*, ISBN 0-8311-2635-3 (26th edition ed.). New York: Industrial Press.
- Onder, H., & Yilmaz, M. (2005). *Underground Dams, A Tool of Sustainable Development and Managment of Groundwater Resources*. Ankara: European Water Publications.
- P. Mutjé, A., López, M., Vallejos, J., & López, V. F. (2007). Full exploitation of Cannabis sativa as reinforcement/filler of thermoplastic composites. *Composites: Part A*, vol. 38 , 369-377.
- Pacheco Torgal, F., & Jalali, S. (2011). *A SUSTENTABILIDADE DOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO*. TecMinho.
- Pearce, J. M., Grafman, L., Colledge, T., & Legg, R. (2008). *Leveraging information technology, social entrepreneurship and global collaboration for just sustainable development*. In: *Proceedings of the 12th Annual National Collegiate Inventors and Innovato*.
- Petersen, E. N. (2006). *Water for small dams. A handbook for technicians, farmers and others on site investigatons, designs, cost estimations, construction and maintance of small earth dams*.
- Rauch, P. D. (1997). *Development Design Manual*.
- Reichel, B., & Eucker, D. (2012). *Environment Mainstreaming and Adaptation to Climate Change*.
- Ricardo, M., & P.M.H., G. (1996). *Mapira e mexoeira nos sistemas de produção e avaliação da distribuição de sementes de mapira e mexoeira, Diagnostico Rápido Rural nos distritos de Chicualacuala, mabote, Vilanculos e Inhambane nas Provincias de Gaza e Inhambane*. (INIA-DTA/DASP, Editor) Obtido em 09 de Março de 2013, de http://library.wur.nl/isric/fulltext/isricu_i27067_001.pdf
- Romão, C. (2007). *COMPÓSITOS DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORÇADOS COM FIBRAS*. Porto: FEUP.

Romão, C. (2012). *COMPÓSITOS DE MATRIZ TERMOPLÁSTICA DE BAIXA VISCOSIDADE REFORÇADOS COM FIBRAS NATURAIS DE ORIGEM VEGETAL*. PORTO: FEUP.

RopePumpOrg. (2013). <http://www.ropepumps.org/>. Obtido em 15 de Março de 2013, de <http://www.ropepumps.org/>

RWSN. (2013). *Rural Water Supply Network*. Obtido em 15 de Março de 2013, de <http://www.rural-water-supply.net/en/>

Shimizu, J. Y. (2006). *Pesquisa e Desenvolvimento Florestal em Moçambique*. Colombo, PR : Embrapa Florestas.

Smith, A. (Realizador). (2009). *How to make carcoal briquettes from agricultural waste* [Filme].

Stephens, T. (2011). *Manual sobre pequenas barragens de terra, Guia para a localização, projecto e construção*. Rome: PUBLICAÇÃO DA FAO SOBRE REGA E DRENAGEM.

Tamele, C. M. (2007). *Dimensionamento de um Sistema de Rega por Gotejamento para uma Área de 50 ha no Distrito de Chókwè*. Maputo: UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE.

The London Sisal Association. (2008). Obtido em 15 de Junho de 2013, de <http://www.londonsisalassociation.org/>

UNICEF. (2007). *An Evaluation of the PlayPump® Water System as an Appropriate Technology for Water, Sanitation and Hygiene Programmes*. UNICEF.

Vestergaard, F. (15 de March de 2013). *Lifestraw*. Obtido em 15 de Março de 2013, de Frandsen Vestergaard: <http://www.vestergaard-frandsen.com/lifestraw/lifestraw>

Wilson, D. G. (2004). *Science of Cycling*.

World Bank, T. (2012). *Technical Manual for Implementation of Rural Water Supply Projects*. Manila, Philipines.

Yague, J. (1996). *Técnicas de Riego*. Grupo Mundi-Prensa, 2ª edição.

ANEXOS

ANEXO A - Relatórios da EpDAH, resultados de ações desenvolvidas na aldeia de Malonguete

1ª Reunião:

Estiveram entre 50 a 60 pessoas presentes. Este número é compreensível visto que foi o 1º secretário da aldeia que transmitiu a informação e pediu para que esta se estendesse por toda a comunidade. Como também foi, tanto a primeira aproximação da EpDAH como a primeira reunião com a comunidade, pode ter havido outros motivos que impossibilitou a presença.

O primeiro tema abordado foi o centro saúde. Existe um precário edifício construído pela população para esse fim, no entanto, devido às faltas de condições de trabalho não é atractivo para um técnico da área actuar. O hospital de Chicualacuala actua na aldeia com a vacinação e assistência a grávidas.

A população constrói gratuitamente, mas necessita de materiais com qualidade e duradouros, que reduzam a reabilitação.

A maior preocupação da comunidade é a escola. Os materiais locais utilizados na construção da escola não oferecem boas condições por muito tempo. Como dito anteriormente, devem ser aplicados os mesmos materiais na edificação da escola. Os problemas apresentados pela população estão a apresentados a seguir:

- Casa dos professores
- Mesas/bancos
- Gabinete director/sala professores
- Latrinas
- Casa banho comunitário
- Refeitório
- Creche
- Material escolar - principalmente mochilas

Sobre a creche não existe problema em arranjar um funcionário na comunidade para cuidar das crianças.

Em relação ao tema da água, a população disse que era um problema por causa do gado. O melhor local para a construção do poço é perto do rio. Não mostraram interesse em pagar pela água, visto que a podem ir buscar gratuitamente ao rio. O dinheiro para a manutenção do sistema provirá dos produtos obtidos numa machamba comunitária perto do recinto da escola (entre o rio e a escola). Gostavam de ter plantado cenoura, alface, tomate, cebola, repolho e couve.

Falaram em haver um moedor de milho mecânico. Não se importavam de pagar o combustível e a manutenção. Não querem uma cozinha comunitária. O biogás pode ser utilizado para um fogão no refeitório da escola.

No fim falaram da necessidade de haver rede telefónica e nós perguntamos se não era mais importante os acessos rodoviários, e eles responderam afirmativamente. Nós comunicamos que não era a nossa área de intervenção.

Muitas das necessidades levantadas foram sugeridas por nós depois de verificarmos que eles tinham dificuldades em sentir necessidade de ter determinado serviço. Todos os presentes na reunião aderiram às nossas sugestões.

- 2ª reunião:

Estavam presentes aproximadamente 50 pessoas. Desta vez não estavam presentes só para falarem connosco. Havia outros assuntos para discutir na tribuna. Nós só estivemos presentes na parte que nos dizia respeito.

Desta vez elaboramos uma serie de perguntas a fazer com base na 1ª reunião e nas áreas que nós achamos que podíamos intervir. As perguntas estão listadas e numeradas e aqui só apresentamos as respostas.

Edificação:

1. Substituição da rama por arame. Pode ser adquirido em Chokwé
2. Duração da construção palhota é de 2 meses com 8 pessoas. Em chapa demoram 3 semanas com 15 pessoas
3. O capim dura no máximo 1 ano
4. A palhota dura 5 anos
5. É fácil arranjar pedras de pequena dimensão (diâmetro de 5 cm)

Machamba comunitária/ água

1. Batata, tomate, cebola, couve, repolho, alface, batata-doce. Árvores de fruto: bananeira, laranjeira, ananás, mangueira. Cana-doce.
- 2.

Cultura	Quantidade (kg)	Cultura	Quantidade (kg)
Repolho	2	Tomate	2

Couve	3	Batata	50
Cebola	2	Alface	1

3.

Cultura	Preço (mts)	Cultura	Preço (mts)
Repolho	10-30	Tomate	1
Couve	5 (pequena)	Batata	10 (1kg)
Cebola	10 (1kg)	Alface	2-5

4. Não sabem como vão fazer a divisão do dinheiro proveniente da venda dos produtos
 5. Não sabem a profundidade que precisam de escavar para obterem água na época mais seca
 6. 2^a, 4^a e 6^a feira são os dias que vão buscar água em grande quantidade (20 bidões com 20 l cada) com carroça
 7. Lavam roupa sábado e domingo
 8. As crianças podem tomar banho na casa banho comunitária todos os dias
- Associações existentes na aldeia
1. Existe uma associação de agricultores constituída por 57 pessoas. Fundada em 2003
 2. Plantam vegetais na machamba da associação: maçaroca, caju, couve, melancia, amendoim. Os produtos obtidos são para o consumo dos membros.
 3. Vendem uma parte das culturas para comprarem cabeças de gado. Contam, neste momento, com

As informações transmitidas pela população, muitas vezes, eram duvidosas. Não eram transmitidas com confiança, nomeadamente na pergunta 2 e 3 da machamba.

Aproveitamos a reunião para salientar que não deviam criar falsas expectativas, porque somos uma associação pequena e estamos a começar. As únicas coisas que prometemos foi que íamos fazer o possível para actuarmos em Agosto.

Materiais:

No decorrer das reuniões, a população insistiu em materiais de construção mais apropriados para uma construção mais resistente e de baixa frequência de manutenção. Falamos em chapa de zinco e cimento. Quando estávamos de regresso a Maputo, no distrito, vimos varias construções em blocos de cimento e chapas de zinco no telhado.

Notas sobre edificação:

Um dos motivos para a escolha de arame para substituir a rama da palmeira é a baixa durabilidade deste material local. Como a função da rama é amarrar as estacas de madeira que suportam o capim no telhado ao longo do tempo estas vão cedendo. Como existem menos amarrações, as existentes ficam mais sobrecarregadas e cedem mais depressa. A estrutura vai-se degradando ao longo do tempo, até ficar instável e incapaz de suportar o capim. A maior parte dos edifícios que estão em ruína é por falhas no telhado, pelo que a envolvente apresentava-se num estado razoável.

Muitas vezes eles constroem com estacas espaçadas, preenchendo o espaço com pedras e lama. A ideia seria substituir a lama por cimento, mas é preciso ter em conta os coeficientes de dilatação dos materiais porque é frequente aparecerem fendas.

Escola:

A escola tem condições muito precárias. Os edifícios são construídos com materiais locais, estacas e capim no telhado, sofrendo assim do mesmo problema descrito anteriormente. Existe um edifício que tinha uma pareceria entre a população e uma associação, no entanto devido a demora na construção por parte da população, a associação deixou de colaborar. Neste momento o edifício encontra-se inacabado. Existe um outro edifício que é o armazém da escola com as dimensões de 3 passos x 3 passos aproximadamente. Cada passo tem aproximadamente 3 pés (0,3m/pé). Guardam soja e materiais para alimentação das crianças. Foi construído pela JAM em chapa de zinco, com o chão em cimento. Ao lado deste edifício existe um tanque de água (plastex) que armazena água do rio. Quando falta vão buscar água à bomba afridev, que esta no recinto da escola. A água da bomba é salubre.

As aulas são dadas em 2 palhotas com dimensões aproximadamente 6 passos x 7 passos e 6 passos x 6 passos. Uma delas já está com o capim bastante degradado, pelo que existe outra onde o capim foi reabilitado e para onde eles se vão mudar. As salas não têm mesas e as cadeiras dos alunos são troncos de árvores. Ambas as salas têm cadeira para o professor, mas só uma é que tem mesa.

No recinto existe o gabinete do diretor, com o telhado em chapa. Tem dimensões de 4 passos x 3 passos. Guardam material escolar (giz, livros, relatórios JAM, etc.)

As entradas dos edifícios têm aproximadamente 1 passo.

Há um campo de futebol muito degradado.

Também têm latrinas secas, mas não estavam operacionais.

As dimensões do recinto da escola são de 111 passos x 150 passos.

Existem 110 crianças, 2 professores (1 diretor). 5 Classes , 2 de manhã e 3 da parte da tarde. Lancham de manhã ou de tarde consoante período que passam na escola. Comem soja que é fornecida e preparada por 2 funcionários da JAM

Notas sobre aldeia:

Estes dados foram recolhidos em conversas com o padre António e o director da escola. Não conseguimos confirmar a veracidade dos mesmos

- Gado serve de banco
- Normalmente vendem os animais para servir as diversas necessidades (doenças).
- Primeiro vão ao curandeiro e só depois é que recorrem ao centro de saúde
- Acreditam que ficam doentes por causa dos espíritos e de pessoas que lhes querem fazer mal
- O dinheiro também pode servir para transporte
- Existe oportunismo no transporte, por exemplo o combustível aumenta e o estado comparticipa, mas mesmo assim os preços sobem
- A poligamia permite atingir na comunidade um certo estatuto
- O primeiro casamento obriga a família do homem a oferecer uma determinada quantia à família da mulher
- Para fazer o enxoval, o homem vai até a África do Sul, mas na maior parte das vezes vai a pé
- É habitual comprar-se vacas e deixar ao cuidado de alguém e como forma de pagamento oferece-se uma vaca
- Uma vaca pode custar entre 7000-15000 MTS mais transporte, se for necessário
- Dentro de uma família a mulher tenta ter o máximo de filhos porque tem sempre a preocupação que nenhum possa cuidar dela quando precisar
- Machamba é escolhida pela família e podem mudar de machamba
- Fazem 2 refeições por dia
- No jantar existe 4 pratos: 2 com chima e 2 com caril. Os homens e as mulheres comem separados. Comem com a mão
- Na época de fome comem frutas silvestres – tintomba
- Há uma árvore que a partir da raiz fazem um chá muito nutritivo e que passam bem o dia e a noite
- Caçam quando o capim cai porque vê-se as gazelas. Abundam na zona. Também fazem armadilhas
- Fazem bebida de caju e canhú (Janeiro, Fevereiro e primeiras semanas Março)
- Tribuna é utilizada para reuniões e para se juntarem para o sumo de canhú
- Normalmente as reuniões são à 4ª feira
- Há um carro na aldeia do pai do 1º secretário que foi trocado por 13 cabeças de gado
- 2 Bicicletas equivalem a 1 boi
- A Samaritan Purse ajuda doentes com VIH. Existe um armazém da associação em Chicualacuala
- As pessoas andam bastante a pé. Chegam a ir até Chicualacuala (80 km) a pé

Dados verificados:

- 80 MTS por viagem até Chicualacuala
- Chapa duas vezes por semana (4ª e 6ª)
- As casas desenvolvem-se ao longo do rio porque têm água a pouca profundidade
- O líder comunitário faleceu e agora o 1º secretário poderá assumir o cargo de líder
- Eles tiram o leite da vaca e deixam fermentar para obter requeijão (leite coagulado)

“Senso” :

Aldeia	Mahatlane	Malonguete	Malambane
Nº agregados	114	68	48
Total habitante	735	593	307
Homens	421	301	179
Mulheres	314	292	128

Estes valores foram obtidos com o chefe de posto de Chicualacuala e são diferentes dos valores que o padre António nos forneceu e o 1º secretário.

temas de recolha de águas pluviais, como forma de otimizar o projeto no futuro.

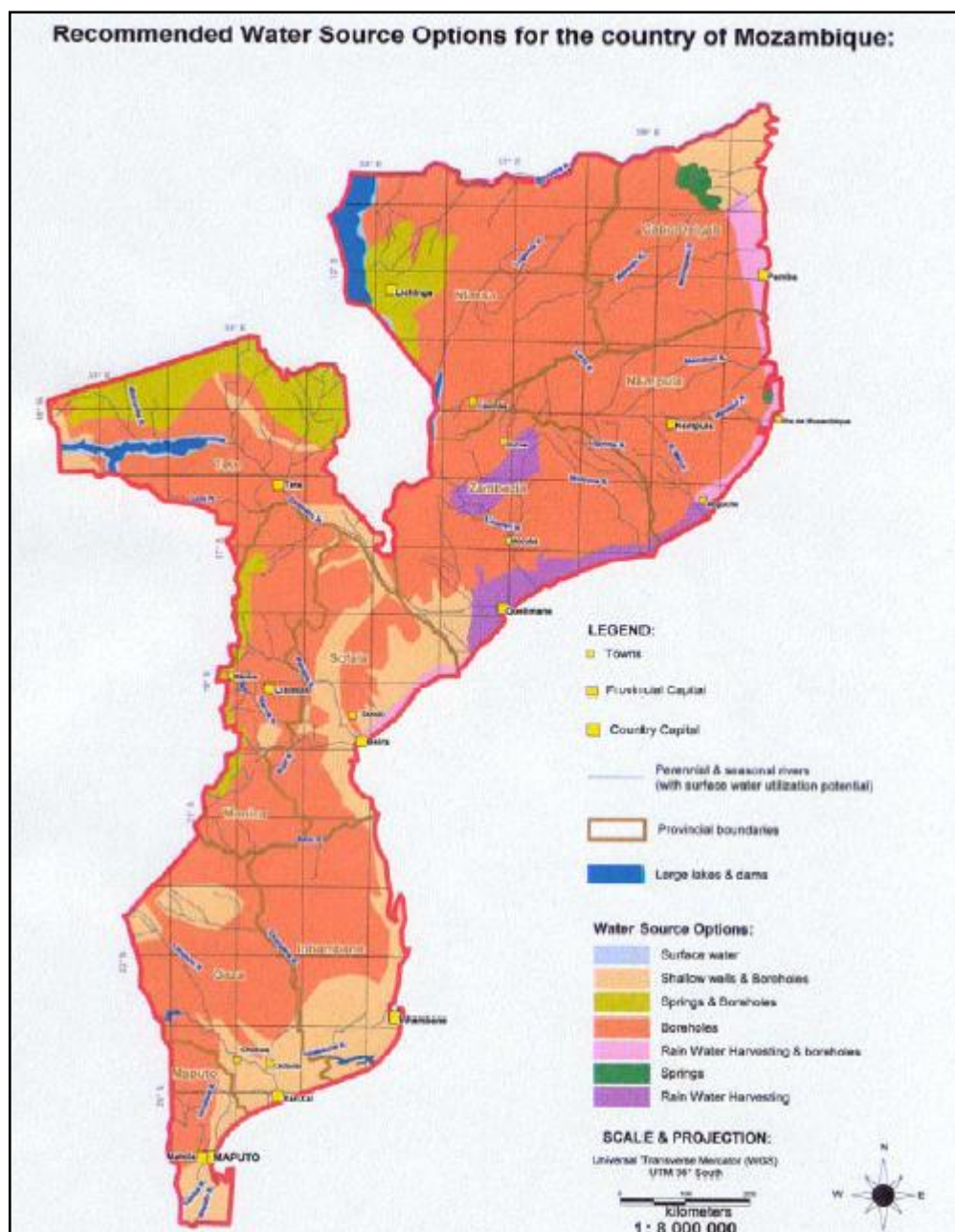


Figura 103 – Mapa de tecnologias apropriadas para extração de água em áreas rurais (World Bank, 2012)

ANEXO B - Dimensionamento de sistemas gota-a-gota

No projeto de uma horta cuja irrigação é efetuada por gotejamento existem essencialmente dois tipos de dimensionamento a ser efetuado: agrônomo, que diz respeito às necessidades das plantas a cultivar, e hidráulico, respeitante ao dimensionamento físico propriamente dito.

A. DIMENSIONAMENTO AGRÔNOMO

1. Determinação das necessidades de água da cultura

Para o cálculo das necessidades da água da cultura usa-se a seguinte expressão:

$$ET_c = K_c \times ET_o$$

Onde:

K_c = constante de cultura

ET_o = evapotranspiração de referência (mm)

2. Determinação da constante da cultura (K_c)

Para uma dada cultura o K_c não é constante, depende principalmente do estágio de crescimento da cultura e também pode ser afectado pela frequência da precipitação ou rega.

Porque K_c depende do estágio de crescimento da cultura, o valor de K_c é determinado nos 4 estágios, que são: fase inicial ou de estabelecimento; fase de desenvolvimento; fase de cobertura máxima e fase de maturação. A variação dos valores de K_c ao longo do ciclo da cultura é normalmente representada por uma curva de K_c que começa com a sementeira até a colheita. Os valores de K_c para várias culturas podem ser encontrados no manual da FAO para Irrigação e Drenagem “FAO 56- Crop evapotranspiration – “Guidelines for Computing Crop Water Requirements”.

3. Disposição dos emissores e da tubagem

Ao distribuir sobre o terreno os tubos há que ter em conta várias considerações:

- Proporcionar a cada planta o número de emissores requeridos no desenho agrônomo;
- Não dificultar as práticas culturais.
- Na colocação dos gotejadores ao largo das tubagens podem-se tomar dois critérios distintos:
 - A zona húmida forma uma linha reta contínua, ao largo da qual as plantas desenvolvem seu sistema radicular;
 - Formando-se uma série de pontos húmidos ao redor das plantas, com o qual as raízes se desenvolvem em várias direções e é menor o risco de serem abatidos pelo vento (conceito usado para as fruteiras).

4. Escolha das espécies a cultivar

Em Moçambique, particularmente em Chókwè²⁵, o cultivo do tomate é o mais praticado, sendo produzido principalmente para o abastecimento dos grandes mercados do sul do país (Cumbi, 2003). Na região de Chicualacuala encontram-se presentes diversas ONGs cujo trabalho se relaciona, entre outros, com o combate a situações de insegurança alimentar. Em Agosto de 2012 observou-se o sucesso no plantio de tomates em aldeias próximas de Malonguete, derivados da conjugação de esforços técnicos das ONGs (melhoria de sementes) e das comunidades envolvidas.

Em Chókwè foram também implementados sistemas de irrigação por gotejamento para o cultivo de alface, feijão-verde, batata, batata-doce (Tamele, 2007).

Segundo outros autores também o repolho apresenta boa resposta ao suprimento de água e foi considerada como uma espécie viável de se produzir em regime de rega por gotejamento feita pelos pequenos, médios e grandes agricultores (Ibraimo, 2005).

De acordo com a informação recolhida junto da comunidade averiguou-se que a população gostava de ter plantadas espécies como cenoura, alface, tomate, cebola, repolho e couve. Outras espécies cultivadas nas proximidades da região são batata, batata-doce, cana-doce, e árvores de fruto como bananeira, laranjeira, ananás, mangueira. Assim sendo, considerando o âmbito desta dissertação e tomando como dados adquiridos o sucesso dos trabalhos referidos, será efetuado, numa primeira análise, o dimensionamento de uma área da *machamba* de Malonguete para o cultivo do tomate, alface, feijão-verde, batata, batata-doce e repolho.

²⁵ Cidade localizada a cerca de 300 km da região de estudo

ANEXO C - Dados para o dimensionamento de sistema gota-a-gota

1. Dados para determinação de espaçamento entre laterais e plantas

A maior parte das plantas disponíveis em Moçambique encontram-se também no Brasil. Levando em consideração este aspecto foi consultada a seguinte tabela.

Espécie	Época Favorável de Plantio *	Tipo de Plantio	Espaçamento (m x m)	Início da Colheita (dias)	Produtividade Normal em 10 m ²
Abóbora	Ago.-Nov.	Direto/Covas	2,50 x 2,50	90-120	10 – 15 kg
Abobrinha	Ago.-Fev.	Direto/Covas	1,50 x 1,00	60-90	10 – 15 kg
Acelga	Abr.-Jun.	Muda/Canteiro	0,40 x 0,30	60-70	15 – 20 kg
Alface	Abr.-Jun.	Muda/Canteiro	0,25 x 0,25	60-90	160 pés
Alface verão	Ago.-Fev.	Muda/Canteiro	0,25 x 0,25	60-80	160 pés
Alho	Mar.-Abr.	Direto/Canteiro	0,25 x 0,10	150-180	4 – 6 kg
Almeirão	Abr.-Jun.	Muda/Canteiro	0,25 x 0,25	60-90	160 pés
Batata	Abr.-Jun.	Direto/Sulco	0,90 x 0,30	110-120	20 – 30 kg
Batata-baroa	Abr.-Jun.	Direto/Leira	0,80 x 0,30	240-360	10 – 20 kg
Batata-doce	Ago.-Fev.	Direto/Leira	0,90 x 0,30	120-150	10 – 15 kg
Berinjela	Ago.-Fev.	Direto/Muda	1,20 x 1,00	90-100	80 kg
Beterraba	Abr.-Jun.	Direto/Canteiro	0,20 x 0,10	60-80	30 – 40 kg
Brócolos	Abr.-Jun.	Muda/Covas	0,90 x 0,50	90-100	10 – 30 kg
Cará	Jul.-Ago.	Direto/Leira	0,80 x 0,30	150-180	20 – 30 kg
Cebola	Abr.-Jun.	Muda/Canteiro	0,40 x 0,10	100-120	10 – 20 kg
Cebolinha	Abr.-Jun.	Muda/Canteiro	0,25 x 0,15	70-90	6 kg
Cenoura	Abr.-Jun.	Direto/Canteiro	0,20 x 0,05	90-110	20 – 30 kg
Chicória	Abr.-Jun.	Muda/Canteiro	0,25 x 0,25	80-90	160 pés
Chuchu	Ago.-Fev.	Direto/Covas	6,00 x 5,00	90-120	15 – 20 kg
Couve	Abr.-Jun.	Muda/Covas	0,90 x 0,50	70-90	16 molhos
Coentro	Abr.-Jun.	Direto/Canteiro	0,25 x 0,10	50-70	6 kg
Couve-flor	Abr.-Jun.	Muda/Covas	0,90 x 0,50	100-110	10 – 12 kg
Ervilha torta	Abr.-Jun.	Direto/Covas	0,90 x 0,40	70-90	9 – 10 kg
Ervilha grão	Abr.-Jun.	Direto/Sulco raso	0,25 x 0,07	100-110	2 – 3 kg
Espinafre	Abr.-Jun.	Direto/Canteiro	0,25 x 0,10	60-70	40 – 50 molhos
Feijão vagem	Ago.-Fev.	Direto/Cova	1,00 x 0,50	60-80	20 – 25 kg
Inhame	Ago.-Out.	Direto/Sulco	0,90 x 0,20	170-210	10 – 15 kg
Jiló	Ago.-Fev.	Muda/Cova	1,00 x 0,70	90-100	16 – 20 kg
Melancia	Ago.-Fev.	Direto/Cova	2,00 x 2,00	90-100	30 – 50 kg
Melão	Ago.-Fev.	Direto/Muda	2,00 x 1,50	100-120	20 – 30 kg
Milho doce	Ago.-Fev.	Direto	1,00 x 0,20	120-140	50 espigas
Moranga	Ago.-Fev.	Direto	2,00 x 2,00	110-120	10 – 15 kg
Morango	Abr.-Mai.	Muda	0,30 x 0,20	70-80	30 – 40 kg
Mostarda	Abr.-Jun.	Muda	0,40 x 0,40	60-70	62 pés
Pepino	Ago.-Fev.	Direto/Muda	1,00 x 0,50	70-80	40 – 50 kg
Pimenta	Ago.-Fev.	Muda	1,20 x 0,60	100-120	4 – 16 kg
Pimentão	Ago.-Fev.	Muda	1,00 x 0,50	100-110	30 – 40 kg
Quiabo	Ago.-Fev.	Direto/Muda	1,00 x 0,40	90-100	15 – 22 kg
Rabanete	Abr.-Jun.	Direto	0,25 x 0,05	30-35	15 – 30 kg
Repolho	Abr.-Jun.	Muda	0,80 x 0,40	85-95	30 – 60 kg
Repolho verão	Ago.-Fev.	Muda	0,80 x 0,40	85-90	30 – 60 kg
Salsa	Abr.-Jun.	Direto/Muda	0,25 x 0,10	65-70	6 kg
Tomate	Abr.-Jun.	Muda	1,00 x 0,50	90-100	50 – 100 kg

* Valido para a região Sudeste, Centro-Oeste, norte da região Sul e sul do Nordeste

Fonte: Embrapa, 2007

(http://bbeletronica.cnph.embrapa.br/2007/ct/ct_47.pdf, consultado em 29-04-2013)

1.1. Informações relativas ao tomate

Tabela 48 - Evapotranspiração de referência (ET_o) do tomate, em mm/dia, em função da temperatura e humidade relativa média mensal do ar.

Temperatura (°C)	Humidade relativa (%)				
	40 a 50	50 a 60	60 a 70	70 a 80	80 a 90
10 a 15	4,6	3,8	3	2,1	1,3
15 a 20	5,9	4,9	3,8	2,7	1,6
20 a 25	7,4	6,1	4,7	3,4	2
25 a 30	9,1	7,4	5,8	4,1	2,5
30 a 35	10,9	8,9	6,9	5	3

Tabela 49 - Coeficiente de cultura (K_c), profundidade efetiva média do sistema radicular (Z) e problemas associados à irrigação inadequada nos diferentes estágios de desenvolvimento da cultura do tomateiro.

Estágio de desenvolvimento ²⁶	Duração (dias)	K _c	Z ²⁷ (cm)	Problemas associadas à irrigação
Inicial	20	0,55	10	Irrigações deficitárias ou em excesso reduzem o 'estande'
Vegetativo	30	0,65	20 a 30	Irrigações abundantes favorecem o crescimento excessivo e a maior incidência de doenças
Frutificação	40	0,85	40	A falta de água reduz o peso e número de frutos. O excesso favorece a maior incidência de doenças
Maduração	30	0,65	40	Irrigações neste estágio prejudicam a qualidade dos frutos e reduzem o brix ²⁸

Tabela 50 - Disponibilidade real média de água no solo para tomateiro, para diferentes tipos de solos.

Textura	Classe textural (exemplos)	Disponibilidade real (mm/cm ³)
Grossa	Areia, areia franca	0,5
Média	Franco-arenoso, Franco, franco-siltoso, Franco-argilo-arenoso	0,8
Fina	Muito argiloso, Argila, argila-siltosa, Franco-argilo-siltoso	1,0

Tabela 1. Quantidade de plantas por hectare no sistema de tutoramento por fitas plásticas, em função dos espaçamentos entre linhas de plantio e entre plantas.

Espaçamento entre linhas de plantio (metro)	Espaçamento entre plantas (metro)*	Área ocupada por plantas (m ²)	População ou densidade de plantio (pl/10.000m ²)
0,80	0,40	0,32	31.250
0,80	0,50	0,40	25.000
1,00	0,40	0,40	25.000
1,00	0,50	0,50	20.000
1,10	0,40	0,44	22.700
1,10	0,50	0,55	18.100

Obs.: * Nos espaçamentos de 0,40m entre plantas, recomendada-se a condução de uma haste principal por planta, enquanto que nos demais, pode-se optar por fazer a condução de duas hastes principais por planta.

Fonte: Recomendações Técnicas para a Produção do Tomate Ecologicamente Cultivado TOMATEC (Embrapa, 2005)

²⁶ Inicial: do plantio até dois pares de folhas ; vegetativo: até o início do florescimento; frutificação: até o início da maturação dos frutos; maturação: até à colheita.

²⁷ Avaliar de preferência no próprio local de cultivo.

²⁸ Quantidade de açúcar numa solução aquosa;

Dados para cálculo do tempo ótimo de irrigação

IDEal Drip System Models and Specifications				
Specification	IDS20 (Family Nutrition Kit)	IDS100 (Vegetable Garden Kit)	IDS500 (IDEal Drip Kit 500 m ²)	IDS1000 (IDEal Drip Kit 1000 m ²)
Area Coverage	20 m ²	100 m ²	500 m ²	1000 m ²
Type of Emitter	Micro-tube 1.2 mm I.D., 25 cm long	Micro-tube 1.2 mm I.D., 25 cm long	Micro-tube 1.2 mm I.D., 25 cm long	Micro-tube 1.2 mm I.D., 25 cm long
No. of Emitters / Micro-tubes	50	300	1500	3000
Emitter / Micro- tube Spacing	40 cm	30 cm	30 cm	30 cm
Type of Lateral	LLDPE 16 mm O.D.	LLDPE 16 mm O.D.	LLDPE 16 mm O.D.	LLDPE 16 mm O.D.
Lateral Length	5.0 m	10 m	12 m on each side	16 m on each side of the sub-main
No. of Laterals	4	10	20	60
Lateral Spacing	1 m	1 m	1 m	1 m
Type of Sub- Main	LLDPE 16 mm O.D.	LLDPE 16 mm O.D.	LLDPE 48 mm O.D.	LLDPE 48 mm O.D.
Sub-main Length	4 m	10 m	25 m	35 m
Filter	Screen Filter (16 mm inlet & outlet size)	Screen Filter (16 mm inlet & outlet size)	Screen Filter (32 mm inlet & outlet size)	Screen Filter (32 mm inlet & outlet size)
Operating Head / Height of Tank	1 meter	1 meter	1.5 meter	1.5 meter
Emitter Flow (microtube as emitter)	3.2 lph	2.8 lph	2.4 lph	2.2 lph
Emitter Flow (built-in dripper)	4.0 lph / meter	4.0 lph / meter	4.0 lph/meter	4.0 lph / meter
Water Storage	20 liters	200 liters	1000 liters	2000 liters
Crops	Vegetable crops such as tomato, eggplant, onion, cabbage, rapeseed, paprika, cauliflower, garlic, watermelon, cucumber, lettuce, etc.		Vegetable crops such as tomato, eggplant, onion, cabbage, rape seed, paprika, cauliflower, garlic, watermelon, cucumber, lettuce, etc. Fruit crops such as banana, papaya, pomegranate, citrus, mango, etc., with required modifications.	
Note: The spacing given above for emitters and lateral pipes is recommended spacing for many vegetable crops. Different spacing of emitters and lateral pipes can be used based on plant and row spacing of fruit and vegetable crops grown in particular region.				

Fonte: (iDE, 2003)

Types and application of major type of emitters to different crops

Type of Emitter	Flow Rate (LPH)	Operating Pressure (m)	Application to type of crop and terrain
Micro-tube, Online dripper, Inline drippers.	1-10	1-10	Vegetable and fruit crops on flat terrain
Self or Pressure compensating dripper	1-10	10-30	Vegetable and fruit crops on uneven land
Line source tube / Thin walled Tape	1-5	1-15	Long row crops
Micro Sprinkler / Micro Jet	20-100	5-50	Vegetable and nursery crops
Mini Sprinkler	500-1000	10-20	Closely spaced crops



Flow rate for different lengths of microtube at different pressure head

Pressure	Length of Microtube (m)							
Head (m)	0.20	0.25	0.30	0.45	0.60	0.90	1.20	1.50
0.50	3.23	2.83	2.54	1.99	1.67	1.31	1.10	0.97
1.00	5.25	4.59	4.12	3.23	2.72	2.13	1.79	1.57
1.50	6.98	6.10	5.47	4.29	3.61	2.83	2.38	2.08
2.00	8.53	7.46	6.69	5.25	4.41	3.46	2.91	2.55
2.50	9.98	8.73	7.82	6.13	5.16	4.05	3.40	2.98
3.00	11.33	9.91	8.89	6.97	5.86	4.60	3.87	3.38
4.00	13.86	12.13	10.87	8.52	7.17	5.62	4.73	4.14

Fonte: (iDE, 2003)

ANEXO D - Caracterização do solo

Amostra Malonguete

 <p>BORATÓRIO DE GEOTECNIA DA F.E.U.P.</p> <p>Rua Dr. Roberto Frias, s/n 4200-465 Porto</p> <p>Telef. : 225081988 - Fax: 225081446 - Web: http://www.fe.up.pt/labgeo</p>		 <p>BORATÓRIO DE GEOTECNIA DA F.E.U.P.</p> <p>Rua Dr. Roberto Frias, s/n 4200-4654 Porto</p> <p>Telef. : 225081988 - Fax: 225081446 - Web: http://www.fe.up.pt/labgeo</p>																																																							
DATA	ANÁLISE GRANULOMÉTRICA	Amostra:	CURVA GRANULOMÉTRICA																																																						
	CEN ISO/TS 17892-4	Prof.:	Amostra:																																																						
			Prof.:																																																						
<p>MASSA TOTAL DA AMOSTRA (gf) 133,1</p> <p>m_t = 3</p> <p>MASSA RETIDA NO PENEIRO DE 2,00 mm (nº 10) (gf) m₁₀ = 0,53</p> <p>MASSA PASSADA NO PENEIRO DE 2,00 mm (nº 10) (gf) m'₁₀ =</p> <p>% RETIDA NO PENEIRO DE 2,00 mm (nº 10) N'₁₀ = 0,4</p>		<p>76,1</p> <p>50,8</p> <p>38,1</p> <p>25,4</p> <p>19,1</p> <p>9,51</p> <p>4,76</p> <p>2,00</p> <p>0,841</p> <p>0,420</p> <p>0,250</p> <p>0,180</p> <p>0,105</p> <p>0,075</p>																																																							
<p>FRACÇÃO RETIDA NO PENEIRO DE 2,00 mm (nº 10)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>PENEIRO</th> <th>3"</th> <th>2"</th> <th>1,5"</th> <th>1"</th> <th>3/4"</th> <th>3/8"</th> <th>nº4</th> <th>nº10</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ABERTURA (mm)</td> <td>76,1</td> <td>50,8</td> <td>38,1</td> <td>25,4</td> <td>19,0</td> <td>9,51</td> <td>4,76</td> <td>2,00</td> </tr> <tr> <td>MASSA RETIDA (gf)</td> <td>(m_x)</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,53</td> </tr> <tr> <td>% RETIDA</td> <td>[N_x=(m_x/m_t)x100]</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>% RETIDA ACUMULADA</td> <td>(N'_x)</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>% PASSADA ACUMULADA</td> <td>(N''_x=100-N'_x)</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>0,00</td> </tr> </tbody> </table>		PENEIRO	3"	2"	1,5"	1"	3/4"	3/8"	nº4	nº10	ABERTURA (mm)	76,1	50,8	38,1	25,4	19,0	9,51	4,76	2,00	MASSA RETIDA (gf)	(m _x)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,53	% RETIDA	[N _x =(m _x /m _t)x100]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	% RETIDA ACUMULADA	(N' _x)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	% PASSADA ACUMULADA	(N'' _x =100-N' _x)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00	<p>4</p> <p>10</p> <p>20</p> <p>40</p> <p>60</p> <p>80</p> <p>140</p> <p>200</p>	
PENEIRO	3"	2"	1,5"	1"	3/4"	3/8"	nº4	nº10																																																	
ABERTURA (mm)	76,1	50,8	38,1	25,4	19,0	9,51	4,76	2,00																																																	
MASSA RETIDA (gf)	(m _x)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,53																																																	
% RETIDA	[N _x =(m _x /m _t)x100]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00																																																	
% RETIDA ACUMULADA	(N' _x)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00																																																	
% PASSADA ACUMULADA	(N'' _x =100-N' _x)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00																																																	
<p>FRACÇÃO PASSADA NO PENEIRO DE 2,00 mm (nº 10)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>NÚMERO DA PROVETA</th> <th>TEMP. MÉDIA DO ENSAIO, (°C) T=</th> <th>PROV. SECO AO AR, m_a=</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>4</td> <td>20,0</td> <td>62,80</td> </tr> <tr> <td>NÚMERO DO DENSÍMETRO :</td> <td>K = 30μ/(980(γ_s-γ_w)^{0,5}) = 0,01343</td> <td>PROVETE SECO (gf) :</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>A 2,5227</td> <td>SEM PRÉ- 62,8</td> </tr> </tbody> </table>		NÚMERO DA PROVETA	TEMP. MÉDIA DO ENSAIO, (°C) T=	PROV. SECO AO AR, m _a =	4	20,0	62,80	NÚMERO DO DENSÍMETRO :	K = 30μ/(980(γ _s -γ _w) ^{0,5}) = 0,01343	PROVETE SECO (gf) :	1	A 2,5227	SEM PRÉ- 62,8	<p>mm</p>																																											
NÚMERO DA PROVETA	TEMP. MÉDIA DO ENSAIO, (°C) T=	PROV. SECO AO AR, m _a =																																																							
4	20,0	62,80																																																							
NÚMERO DO DENSÍMETRO :	K = 30μ/(980(γ _s -γ _w) ^{0,5}) = 0,01343	PROVETE SECO (gf) :																																																							
1	A 2,5227	SEM PRÉ- 62,8																																																							

CORREÇÕES :		$= (100/m_b)(\gamma_s/(\gamma_s-1)) =$			TRATAMENTO, $m_b =$ 0		
MENISCO, $C_M =$	ANTIFLOCULANTE, $C_A =$	P. VOL. PART. SÓLIDAS, $\gamma_s =$	Nº da cápsula	Peso Solo	Peso Solo	T. água	
							Húmido, gf
0,00050	0,00025	2,71	2	63,61	63,61	0,0	
MASSA DA AMOSTRA SECA A ENSAIAR (gf) $m_b =$ 62,80							
PENEIROS ABERTURA (mm)		nº20	nº40	nº60	nº80	nº140	nº200
		0,841	0,425	0,250	0,180	0,106	0,075
MASSA RETIDA (gf)	(m_x)	3,77	12,16	14,46	6,46	7,13	5,51
% RETIDA	$n_x = (m_x/m_b) \times 100$	6,00	19,36	23,03	10,29	11,35	8,77
% RETIDA ACUMULADA	(n'_x)	6,00	25,37	48,39	58,68	70,03	78,81
% PASSADA ACUMULADA	$n''_x = 100 - n'_x$	94,00	74,63	51,61	41,32	29,97	21,19
% PASSADA ACUM. TOTAL	$N''_x = n''_x$ (100 - $N'_{10}/100$)	93,6	74,3	51,4	41,2	29,8	21,1

FRACÇÃO PASSADA NO PENEIRO DE 75 µm - SEDIMENTAÇÃO										
TEMPO (min.)	TEMPERATURA (°C)	CORREÇÃO DA TEMPERATURA	LEITURA DENSIMETRO	$L_s + C_M - C_A + C_T$	Z (cm)	Z/t	$D = K(Z/t)_{0,5}$	$B = 10^3(L_c - 1)$	A x B	$n_D(100 - N'_{10})/100$
1	20,00	0,0000	1,0005	1,0005	14,911	14,911	0,0518	4,50	11,35	11,3
2	20,00	0,0000	1,0000	1,0000	15,047	7,523	0,0368	4,00	10,09	10,1
5	20,00	0,0000	1,0005	1,0005	15,182	3,036	0,0234	3,50	8,83	8,8
15	20,00	0,0000	1,0000	1,0000	15,317	1,021	0,0136	3,00	7,57	7,5

ABERTURA

Nº

PENEIROS

ASTM

3 0	2 0, 0	0, 00 00	1, 0 0 5 0	1, 0 0 3 0	15,317	0,511	0,0096	3,00	7,57	7,5
6 0	2 0, 0	0, 00 00	1, 0 0 5 0	1, 0 0 3 0	15,317	0,255	0,0068	3,00	7,57	7,5
2 5 0	2 0, 0	0, 00 00	1, 0 0 4 5	1, 0 0 2 5	15,453	0,062	0,0033	2,50	6,31	6,3
1 4 4 0	2 0, 0	0, 00 00	1, 0 0 4 5	1, 0 0 2 5	15,453	0,011	0,0014	2,50	6,31	6,3
2 8 8 0	2 0, 0	0, 00 00	1, 0 0 4 0	1, 0 0 2 0	15,588	0,005	0,0010	2,00	5,05	5,0
ENTIDADE:					OBRA:					
ENTIDADE:					OBRA:					
ENSAIO U :	CALC ULOU :				VERIFICO U :				ENSAI OU :	VE RI FI CO U :



LABORATÓRIO DE GEOTECNIA
FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO
 Rua Dr. Roberto Frias, s/n 4200-465 Porto

Telef.: 225081988 - Fax: 225081446 - web : <http://www.fe.up.pt/labgeo>

DATA 11-03-2013	PESO VOLUMICO DAS PARTÍCULAS SÓLIDAS CEN ISO/TS 17892-3	Amostra: Malonguete
--------------------	---	----------------------------

1-CALIBRAGEM

t ₁	TEMPERATURA DE CALIBRAGEM DO PICNÓMETRO (° C)	26,3	26,0
m ₁	PESO DO PICNÓMETRO (gf)	55,97	55,74
m ₂	PESO DO PICNÓMETRO + ÁGUA DESTILADA (gf)	155,66	155,39

2-DETERMINAÇÃO DO PESO VOLUMICO

-	NÚMERO DO PICNÓMETRO (gf)	17	18
m ₃	PICNÓMETRO + ÁGUA DESTILADA (gf)	155,77	155,52
m ₅	PICNÓMETRO + PROVETE + ÁGUA DESTILADA (gf)	171,86	171,08
-	NÚMERO DA CÁPSULA (gf)	17	18
A	PESO DA CÁPSULA (gf)	215,03	260,90
B	PESO DO PROVETE SECO + CÁPSULA (gf)	240,97	286,43
m ₄ =B-A	PESO DO PROVETE SECO (gf)	25,94	25,53
tx	TEMPERATURA DO ENSAIO (° C)	21,8	20,6
K	RAZÃO ENTRE AS DENSIDADES DA ÁGUA À TEMPERATURA DO ENSAIO A 20° C	1,000	1,000
$\gamma_s = k \frac{m_4}{m_3 - (m_5 - m_4)}$	PESO VOLUMICO DAS PARTÍCULAS (kN/m ³)	25,83	25,12
MÉDIA DOS PESOS VOLUMICOS DAS PARTÍCULAS (kN/m ³)		25,5	

ANEXO E - Gráficos dos ensaios realizados

Ensaio de flexão

Nos gráficos apresentados excluí-se a parte inicial do ensaio, referente à acomodação da ferramenta na amostra.

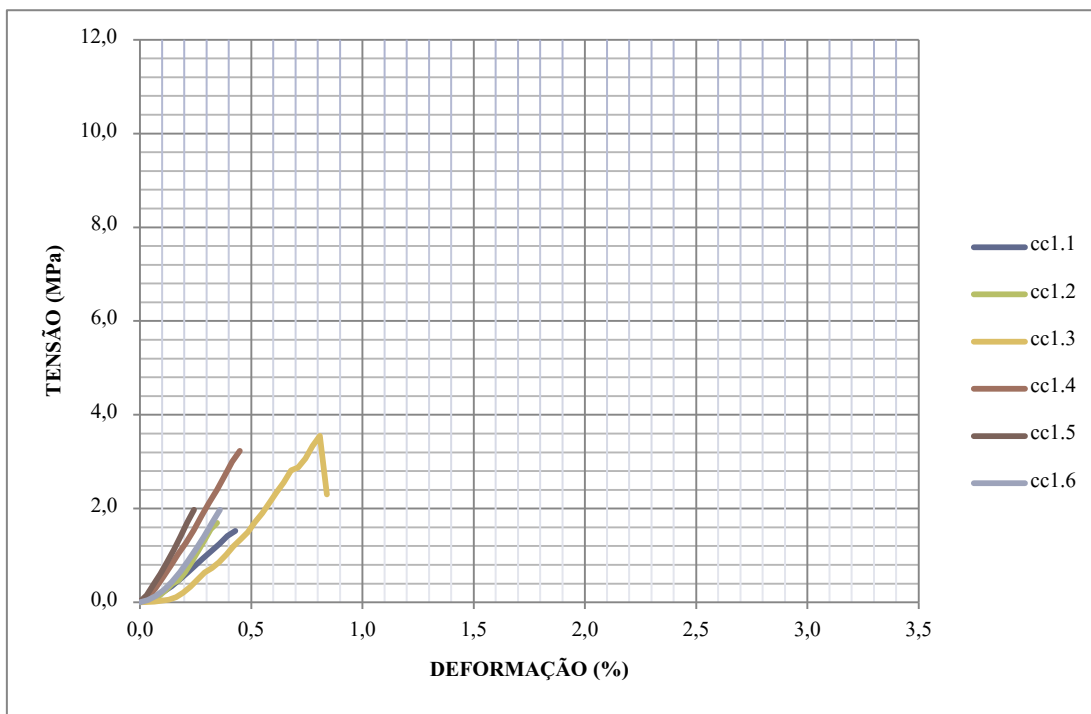


Gráfico 10 - Gráfico tensão-deformação à flexão CC

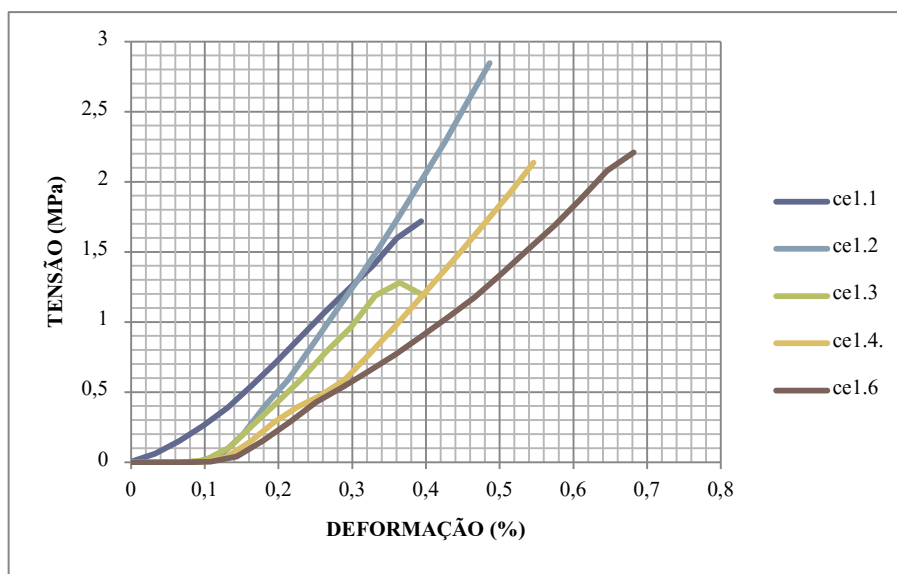


Gráfico 11 - Gráfico tensão-deformação à flexão CE

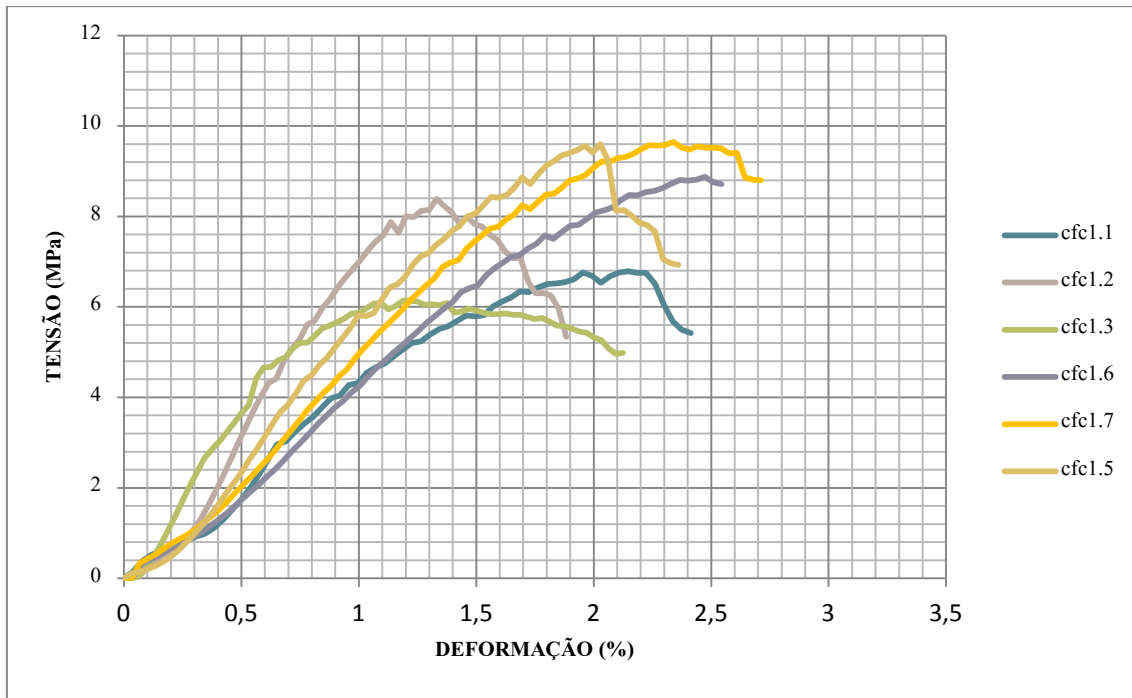


Gráfico 12 - Gráfico tensão-deformação à flexão do compósito CCF

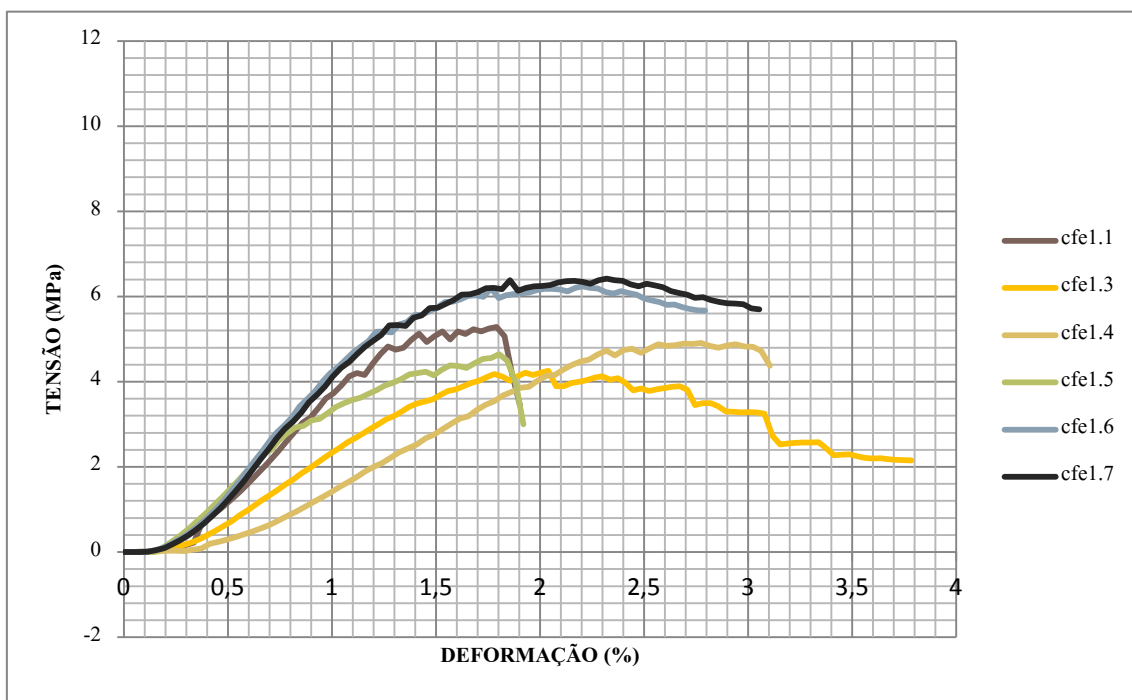


Gráfico 13 - Gráfico tensão-deformação à flexão do compósito CFE

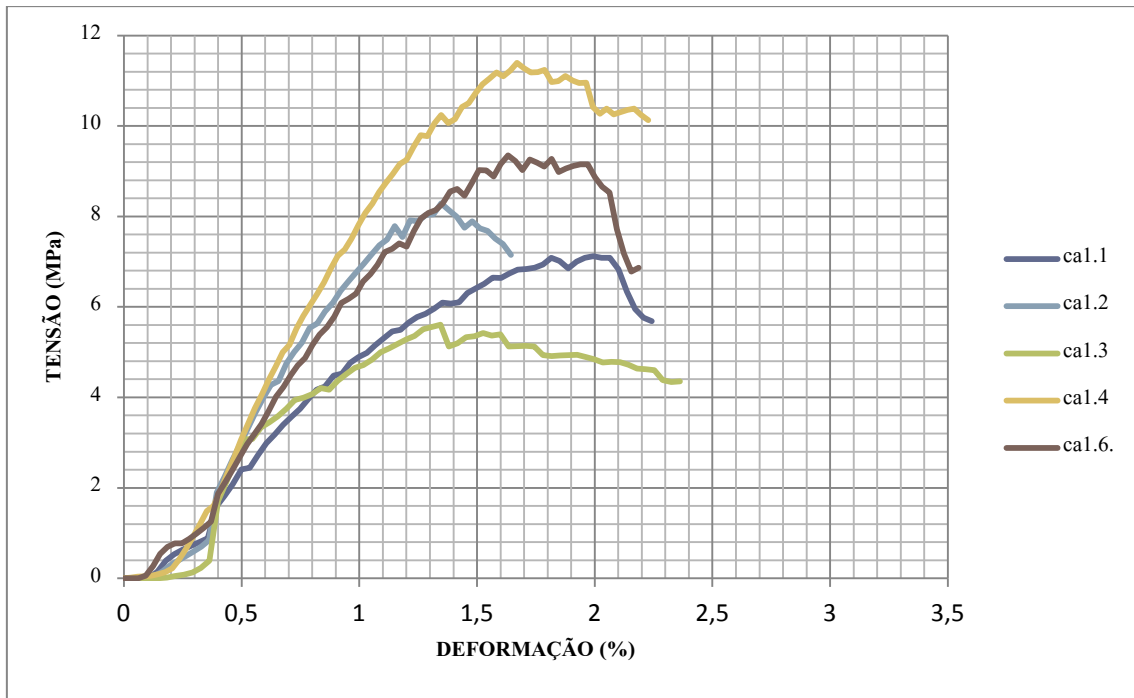


Gráfico 14 - Gráfico tensão-deformação à flexão do compósito CA

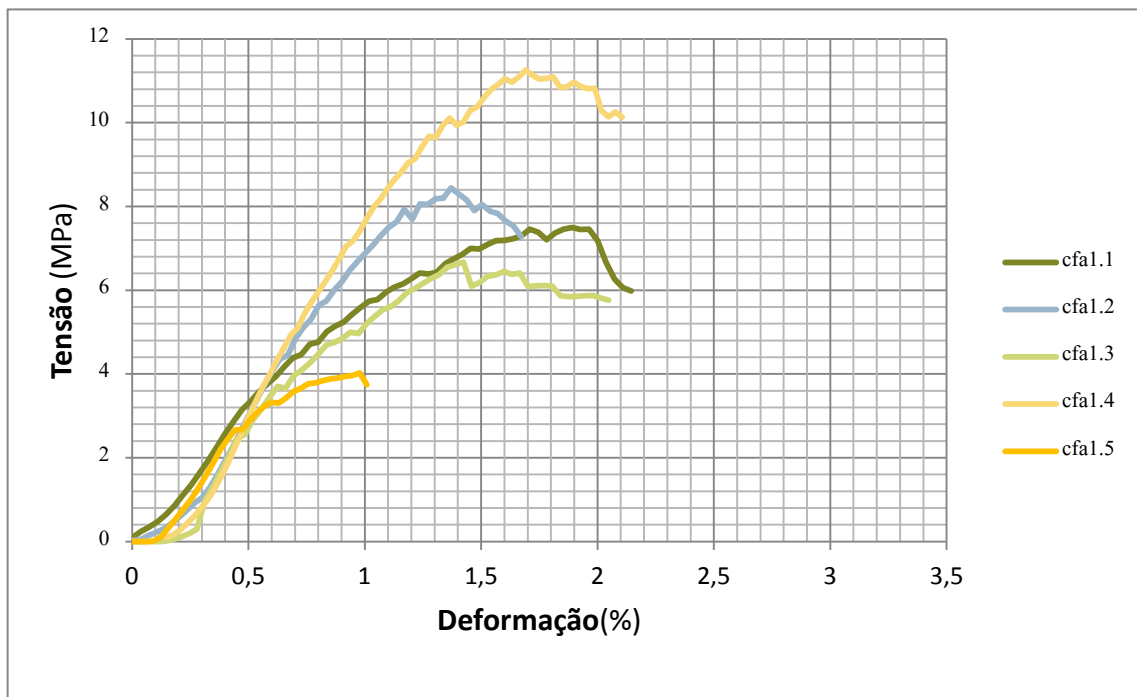


Gráfico 15 - Gráfico tensão-deformação à flexão do compósito CAF

Repetição do ensaio de flexão

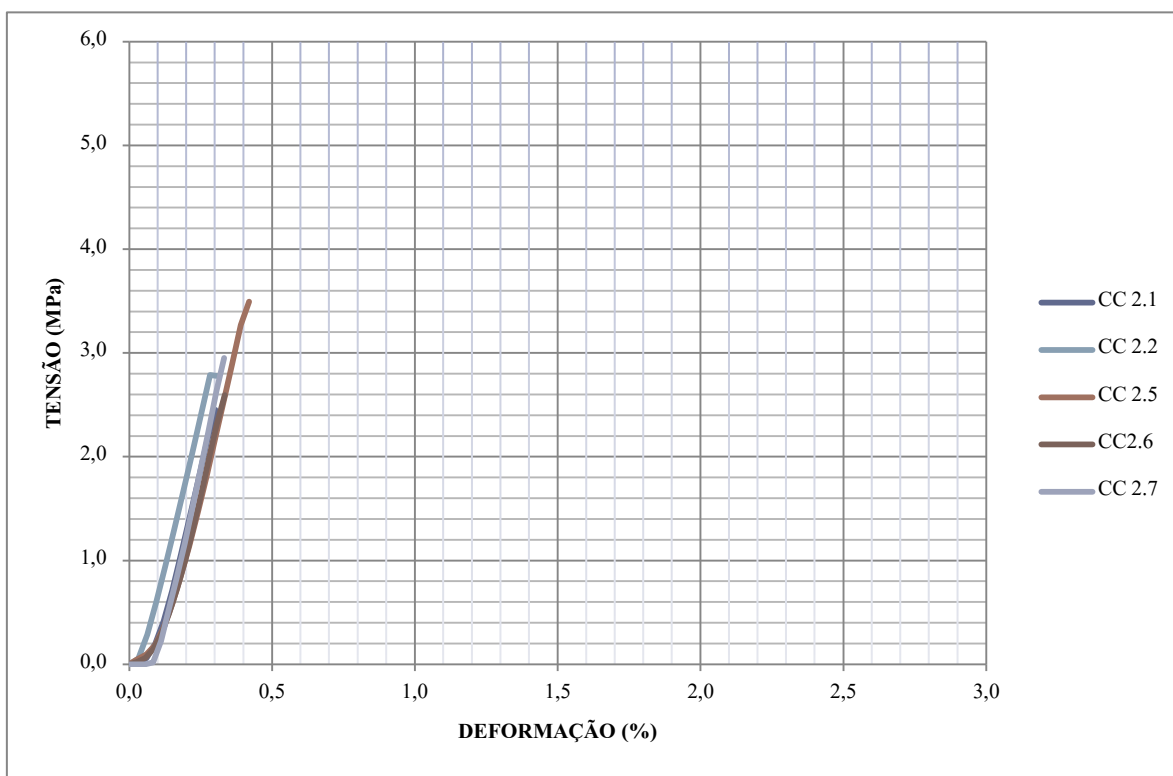


Gráfico 16 - Gráfico tensão-deformação das amostras CC

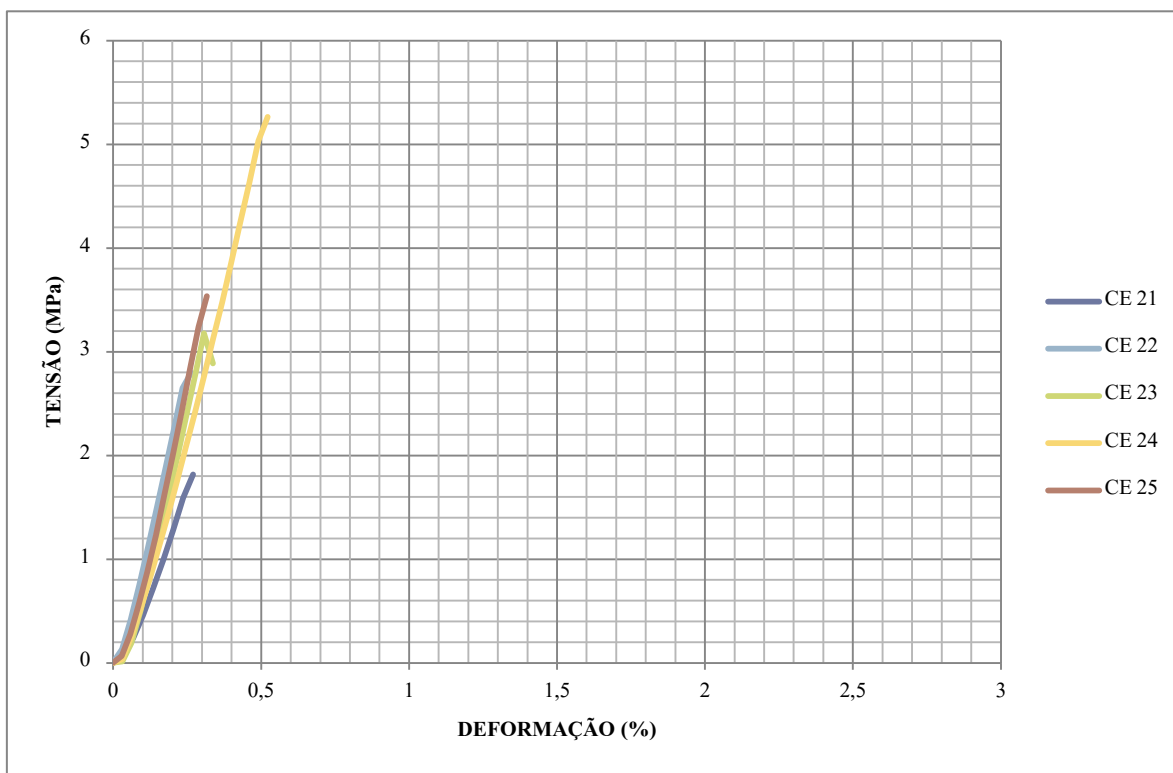


Gráfico 17 - Gráfico tensão-deformação das amostras CE

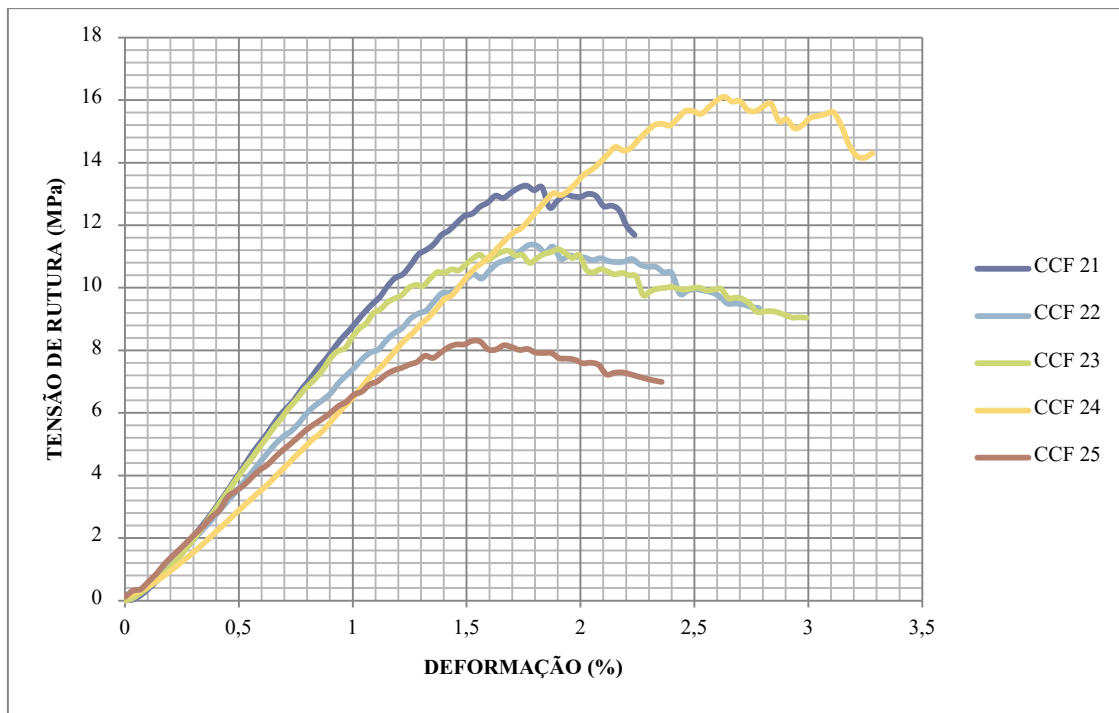
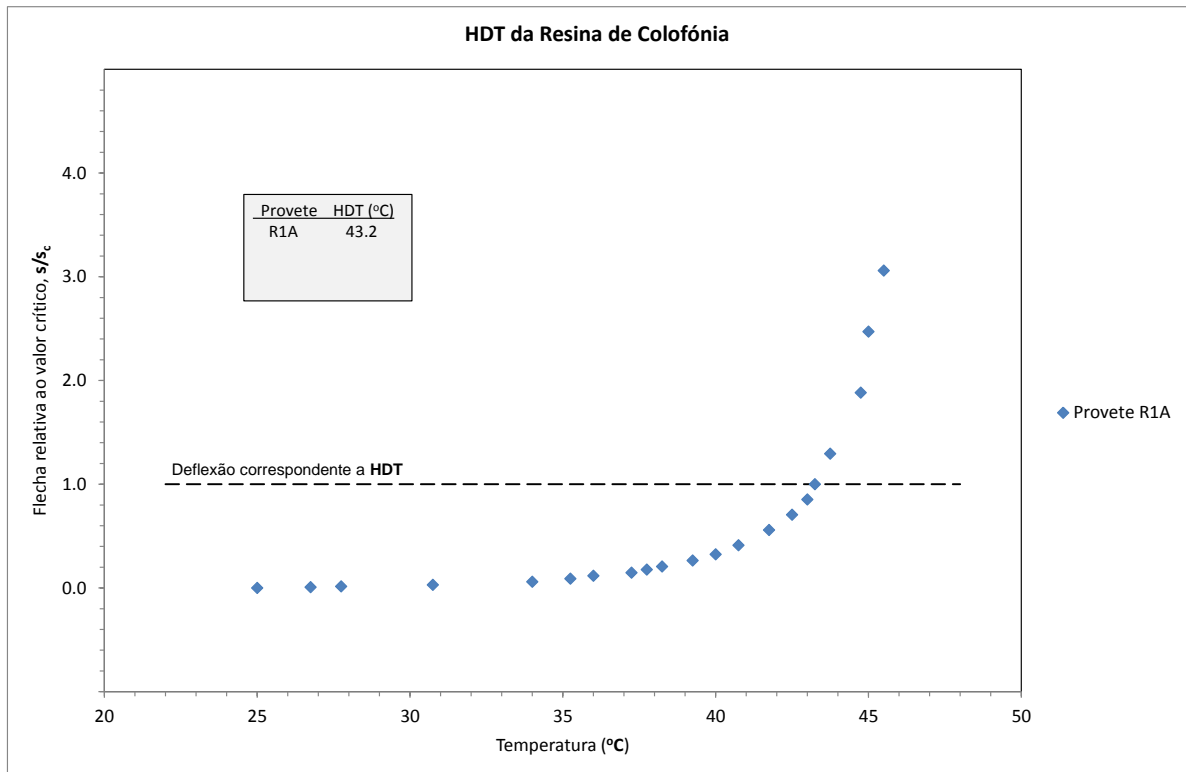


Gráfico 18 - Gráfico tensão-deformação das amostras CCF20

**Gráfico 19 - Gráfico do HDT**